

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Розробка вимірювального модуля системи контролю
концентрації поверхнево-активної речовини у природній воді»

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи КАМ-61
спеціальності 151 «Автоматизація

та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

Трач Р.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Трембач Р.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач
кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Чихіра І.В.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет _____ прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра _____ автоматизації технологічних процесів і виробництв

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«___» _____ 2022р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю _____ 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

студенту _____ Трач Роман Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ «Розробка вимірювального модуля системи контролю
концентрації поверхнево-активної речовини у природній воді»

Керівник роботи _____ к.т.н., доцент Трембач Р.Б.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «01» листопада 2022 року № 4/7-822.

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____ 12 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи _____ Технічні параметри визначення концентрації
поверхнево-активної речовини у природній воді

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1) аналітична частина; 2) науково – дослідна частина; 3) технологічна
частина; 4) конструкторська частина; 5) спеціальна частина; 6) охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Презентація кваліфікаційної роботи 12 аркушів формату А4

АНОТАЦІЯ

Мета даної кваліфікаційної роботи полягає у розробці вимірювального модуля системи контролю концентрації поверхнево-активної речовини у природній воді за характеристикою поверхні розділу фаз. Результати впровадження дадуть можливість здійснювати оперативний якісний і кількісний контроль включень у водному середовищу, контролювати значення поверхневого натягу у ряді технологічних процесів, здійснювати їх логіко-статистичний аналіз протягом тривалого часу. На основі аналізу сучасних методів вимірювання розроблені методика і технічні засоби визначення характеристик поверхні розділу фаз за вимірюваному тиску у капілярних поверхнях. Розроблені програмні і технічні засоби збору інформації з об'єкту дослідження, а також розглянутий алгоритм функціонування роботи мікроконтролера.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Методологічні основи визначення характеристик поверхонь розділу фаз	8
1.1.1 Загальна характеристика капілярних методів	8
1.1.2 Структура поверхні розділу фаз рідина - газ	9
1.2 Структура поверхні розділу фаз рідина-рідина	13
1.3 Постановка задачі дослідження	15
2 НАУКОВО – ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	17
2.1 Аналіз методів визначення характеристик поверхонь розділу фаз	17
2.2 Методи границі стійкості меніска	21
2.3 Спеціальні динамічні методи визначення поверхневого натягу	24
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	29
3.1 Узагальнення характеристик методів визначення характеристик поверхонь розділу фаз	29
3.2 Функціональний синтез системи	30
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	35
4.1 Вибір елементів функціональної схеми	35
4.2 Синтез принципової електричної схеми	48
4.3 Алгоритм і програма функціонування мікроконтролера	52
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	54
5.1 Аналіз типів похибок	54
5.2 Розрахунок основної допустимої похибки системи	56
6 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА	62

ПРАЦІ

6.1 Охорона праці	62
6.1.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей виробничого середовища	62
6.1.2 Забезпечення нормальних умов праці	64
6.1.3 Розрахункова частина	66
6.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	68
6.2.1 Електромагнітний імпульс ядерного вибуху і захист від нього радіоелектронних засобів	68
6.2.2 Використання імітаторів ЕМІ для набору експериментальних даних	69
6.2.3 Можливі шляхи вирішення задачі захисту від ЕМІ	71
ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	75
ДОДАТОК А. Електрична схема пристрою	77
ДОДАТОК Б. Програма функціонування мікроконтролера	80
ДОДАТОК В. Блок-схема алгоритму	84

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- ПАР – поверхнево-активна речовина;
- ККМ – критична концентрація міцелоутворення;
- ЦАП – аналого-цифровий перетворювач;
- БД – бази даних;
- ООП – об’єктно-орієнтоване програмування;
- ОС – операційна система;
- ПЗ – програмні засоби;
- ПН – поверхневий натяг
- ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
- КД – кроковий двигун;
- МК – мікроконтролер;
- МП – масштабуючий підсилювач;
- МР – молодший розряд;
- ОЗП – оперативний запам’ятовуючий пристрій;
- ПЗП – постійний запам’ятовуючий пристрій;
- Р – регістр;
- СР – старший розряд;
- ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

ВСТУП

Кожне виробництво потребує дотримання певних технологічних умов. В протилежному випадку виникають втрати, які проявляються в вигляді погіршення якості продукції, збільшення витрати сировини і енергії або зниження потужності. Для керування виробничим процесом часто виявляється недостатнім періодичне вимірювання параметрів процесу. Може статися, що в момент вимірювання величина приймає значення, яке ще не загрожує нормальному ходу процесу, але змінюється вона настільки швидко, що вже необхідно прийняти певні міри для попередження її відхилення за допустимі межі. В таких випадках необхідно застосовувати автоматичні контрольно-вимірювальні пристрої, які працюють або безперервно, або з короткими інтервалами часу і автоматично вказують або реєструють значення вимірювальної величини.

Для контролю хімічного складу все більше значення отримують так звані аналізатори. Ці автоматично діючі пристрої дозволяють отримувати неперервну інформацію про зміни в ході виробничого процесу, що суттєво полегшує управління виробництвом. В даний час найбільше розроблені аналізатори газів, більш важче виконання аналізаторів рідин. Необхідність розробки даних аналізаторів обумовлена технологічними і екологічними проблемами, які виникають при використанні природних ресурсів в технологічних процесах. Це обумовлює актуальність даного дипломного проекту.

Розробка вимірювального модуля визначення концентрації ПАР за динамічними характеристиками поверхонь розділу фаз, який є складовою частиною системи контролю. Даний пристрій повинен автоматично і швидко збирати і передавати інформацію на обробляючий пристрій, також повинен аналізувати виміряні дані і виявляти основні аварійні ситуації і сигналізувати про них.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Методологічні основи визначення характеристик поверхонь розділу фаз

1.1.1 Загальна характеристика капілярних методів

Багато задач вимірювання, контролю та діагностики можуть бути вирішені на основі капілярних методів. У їх основі лежить вплив на міжфазний натяг фізичних і хімічних властивостей контактуючих фаз у процесі адсорбції (хемосорбції). Тобто чутливим елементом є поверхня розділу фаз рідинного меніска. В першу чергу це стосується визначення концентрації шкідливих включень у повітряному і водному середовищах.

В основу більшості методів визначення динамічних характеристик поверхневого натягу покладено вимір фізичних, або обумовлених ними геометричних параметрів рідинних менісків. Спектр таких методів досить широкий [1,2] і багато з них дозволяють реалізувати процес вимірювання в автоматичному режимі у реальному масштабі часу. Це в першу чергу обумовлено можливістю застосування новітніх мікропроцесорних засобів і програмних продуктів у вимірювальних системах.

Перевагою капілярних методів є:

- можливість оперативного контролю у реальному масштабі часу;
- можливість розміщенням первинних перетворювачів безпосередньо у зоні контролю;
- універсальність конструкції первинних перетворювачів щодо компонентів, що підлягають дослідженню (під конкретні компоненти підбираються тільки програмне забезпечення обробки результатів вимірювання та індикаторна рідина);
- оновлення чутливого елемента – поверхні розділу фаз при кожному вимірі;

- можливість створення єдиної автоматизованої системи контролю довкілля з розподіленими у просторі точками вимірювання.

Для реалізації запропонованої методології необхідно вирішити три основні проблеми:

- обґрунтувати та визначити відображення властивостей, що підлягають контролю (як правило - це концентрація і якісний склад включень у рідинному, газовому середовищах та на твердих поверхнях), у динамічні характеристики поверхневого натягу;

- так як прямі методи виміру поверхневого натягу практично реалізувати неможливо, необхідно визначитись у оптимальній методології виміру поверхневого натягу;

- розробити відповідне програмне забезпечення та апаратну реалізацію.

Термодинамічні аспекти взаємозв'язку поверхневого натягу з фізико-хімічними властивостями контактуючих фаз досить детально описані раніше у роботі [3].

Важливими факторами, що обумовлюють взаємозв'язок поверхневого натягу з фізико-хімічними властивостями контактуючих фаз, є структура поверхні розділу фаз.

1.1.2 Структура поверхні розділу фаз рідина - газ

Поверхневу енергію можна розглядати як роботу для переносу молекули із об'єму рідини на поверхню. Ця робота пов'язана з тим, що в середині фази результуюча сила, яка діє на молекулу, дорівнює нулю, тоді як при наближенні молекули до поверхні ця сила направлена до середини фази. Якщо розглядати взаємодію молекули тільки з ближніми сусідами, то її молярна енергія визначається виразом [4]

$$E = (N_A \varepsilon / 2)(n_i - n_j), \quad (1.1)$$

де $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ молекул/моль – число Авагадро, ε - енергія взаємодії, n_i , n_j кількість сусідніх молекул в об'ємі i на поверхні рідини. Виходячи з цього

енергія випаровування повинна бути рівною $\varepsilon n_i/2$. Якщо відома залежність потенційної енергії від температури, то можна також знайти поверхневу вільну енергію. Товщина поверхневого шару (області незбалансованих сил) в основному залежить від радіуса дії міжмолекулярних сил. При відсутності на поверхні рідини іонів взаємодія молекул в основному обумовлена вандерваальсовими силами. Сили цього типу зменшуються пропорційно приблизно сьомій степені відстані між молекулами і тому має значення тільки взаємодія з одним – двома шарами сусідніх молекул, тому товщина поверхневого шару має той же порядок.

Поверхневий шар перебуває у стані рівноваги із своїм паром, тобто існує двосторонній збалансований перенос молекул з газової фази на поверхню і навпаки (конденсація і випаровування). Виходячи з кінетичної теорії газів, кількість молів Z , які взаємодіють з одиницею площі поверхні за одиницю часу, дорівнює

$$Z = P(2\pi MRT)^{-1/2}, \quad (1.2)$$

де P - тиск парів, M - молярна маса, R - універсальна газова стала, T - температура. Так для парів насичених відносно води при кімнатній температурі Z приблизно дорівнює 200 (моль/м²)/с, або біля $1,2 \cdot 10^{26}$ (молекул/м²)/с. Таким чином, на площу в 10 \AA^2 , яка відповідає площі однієї молекули води, за одну секунду попадає $1,2 \cdot 10^7$ молекул. Звідси, середня тривалість перебування молекули на поверхні повинна бути порядку 10^{-10} с.

З іншого боку між поверхневим шаром і суміжними шарами також відбувається перенесення молекул. При кімнатній температурі коефіцієнт дифузії більшості рідин приблизно дорівнює 10^{-9} м²/с. Коефіцієнт дифузії D пов'язаний з часом t і сумарним зміщенням x рівнянням Ейнштейна

$$D = x^2 / 2t. \quad (1.3)$$

Якщо x прийняти рівним 100 \AA , то відповідно t складе біля 10^6 с. Таким чином, за рахунок броунівського руху здійснюється досить швидкий взаємний обмін молекул між поверхнею і сусідніми шарами рідини.

З наведеного вище можна зробити висновки, що у напрямку ортогональному поверхні розділу, область зміни міжмолекулярної взаємодії має відстань в декілька молекулярних діаметрів, а ззовні цієї області проявляються властивості об'ємної фази. Однак є припущення, що на поверхні розділу існують і далекодіючі сили, які розповсюджуються на 10-100 молекулярних діаметрів, хоча експериментальні докази існування таких сил ще недавно викликали дискусії [2]. “Спокійна” поверхня рідини на молекулярному рівні фактично знаходиться у збуреному стані, при якому молекули постійно рухаються між поверхнею і газовою і рідинною фазами. Середня густина поверхневого шару неперервним чином міняється від густини рідини до густини парової фази. При загальному аналізі типів взаємодії на поверхні розділу фаз, у першому наближенні, достатньо врахувати тільки сили Лондонна (Лондонна – Ван-Дер-Ваальса), ефекти відштовхування, а також електростатичні сили, які виникають при взаємодії між іонами і постійними диполями.

Поверхневий натяг на границі розділу рідина – газ γ^{LV} -пряма міра міжмолекулярних сил (L - рідина, V - газ). Якщо діють тільки дисперсні сили, то $\gamma^{LV} = {}^d\gamma^L$ (${}^d\gamma^L$ -дисперсна складова сили). Однак поведінка багатьох рідин не відповідає цьому випадку, так для води (W) додатково діють деякі типи міжмолекулярних сил, які також вносять вклад у величину поверхневого натягу γ^{WV} . Фоукс [2] запропонував співвідношення

$$\gamma^{WV} = {}^d\gamma^L + {}^h\gamma^W, \quad (1.4)$$

де ${}^h\gamma^W$ – складова, яка обумовлена водневими зв'язками та взаємодією диполів. Для ртуті (M) додаткова складова обумовлена металевими зв'язками (m), тобто

$$\gamma^{MV} = {}^d\gamma^M + {}^m\gamma^W, \quad (1.5)$$

Одним з напрямків якісного і кількісного діагностування поверхнево активних речовин (ПАР) є їх селекція по типу поверхневих адсорбційних плівок, які вони утворюють.

Мономолекулярний шар ПАР на поверхні рідини може формуватись як шляхом адсорбції ПАР з об'ємної фази, так і шляхом нанесення ПАР безпосередньо на поверхню з подальшим розтіканням. При невеликих концентраціях поверхневі плівки ПАР ведуть себе у двомірному просторі аналогічно молекулам газу. В загальному, в залежності від оточуючих умов і виду ПАР, утворюються поверхневі плівки, які за властивостями подібні речовинам трьох агрегатних станів: газ, рідина, тверде тіло.

Можливість довільного утворення плівок на поверхні розділу фаз визначається співвідношенням між роботою адгезії плівки до поверхні і роботою когезії речовини плівки. При відсутності взаємного насичення фаз (об'ємної, плівки) мономолекулярний шар може утворитися лише в тому випадку, якщо робота адгезії є більшою від роботи когезії речовини, що розтікається (коефіцієнт розтікання додатній). Якщо існує взаємне насичення фаз, то розтікання може не відбутися і плівка збереться в лінзу. В цьому випадку поверхневий натяг водної фази буде відповідати моношару насиченого розчину у воді. Якщо поверхнева концентрація мала і молекули ПАР слабо взаємодіють між собою в поверхневому шарі (великий коефіцієнт розтікання), то молекули ПАР рухаються по поверхні практично незалежно одна від одної. Така поведінка нагадує поведінку газу, а плівку називають газоподібною. Її можна описати рівнянням стану ідеального двомірного газу:

$$\pi S = RT, \quad (1.6)$$

де $\pi = \gamma_0 - \gamma$ – двомірний поверхневий тиск, γ_0 – поверхневий натяг розчинника, γ – поверхневий натяг розчину, $S = 1/A$ – величина обернена величині адсорбції, R – універсальна газова стала, T – температура.

При збільшенні концентрації ПАР на поверхні і збільшенні роботи когезії (зменшення коефіцієнта розтікання), що може бути викликане збільшенням довжини вуглецевого радикала (зростання енергії дисперсійної взаємодії), створюються умови для конденсації плівки. У поверхневому шарі утворюються острівці моношару, які за рахунок теплового руху, переміщуються по поверхні значно повільніше, ніж окремі молекули. Внаслідок цього, поверхневий натяг

розчину буде більшим, ніж при тій же концентрації ПАР в умовах газової плівки. Стан таких плівок описується рівнянням

$$(\pi + \alpha / S^2)(S - B) = RT, \quad (1.7)$$

де α – стала, яка враховує взаємодію молекул ПАР на поверхні; $B=1/A_\infty$ – величина обернена ємності адсорбційного моношару. Плівки, утворені при суцільному заповненні поверхні називають конденсованими.

Тверді плівки по своїй структурі подібні до структури твердого тіла. Якщо такі плівки течуть, то дуже повільно. Їх отримують методом розтікання відносно рідко. Це пов'язано з тим, що тверді плівки утворюють речовини, які характеризуються великою роботою когезії, яка часто перевищує роботу адгезії до рідини і тому не реалізується умова розтікання. Такі речовини не здатні до оберненого довільному утворенню плівок.

З підвищенням температури конденсовані плівки здатні переходити в газоподібні. Причиною цього є зростання кінетичної енергії молекул і, відповідно, зменшенням когезійної взаємодії.

1.2 Структура поверхні розділу фаз рідина-рідина

Поверхня розділу двох рідин, що не змішуються, наприклад води (W) і олії (O) утворена контактуючими моношарами двох рідин, а міжфазний натяг є сумою двох окремих поверхневих натягів. Окремо кожна з рідин має свій власний поверхневий натяг, однак при контакті молекули у моношарі води одночасно піддаються впливу молекул води і масла, в результаті цього поверхневий натяг зменшується. Взаємодія між цими компонентами визначається дисперсійними силами, і, як показано у роботі [5], середнє геометричне значення вкладу цих сил у величину поверхневого натягу $(\gamma^O \gamma^W)^{1/2}$ точно описує відповідні сили взаємодії. Поверхневий натяг у шарі масла зменшується на таку ж величину, тому

$$\gamma^{ov} = \gamma^{ov} + \gamma^{wv} - 2(\gamma^o \gamma^w)^{1/2}, \quad (1.8)$$

де γ^{ow} і γ^{wv} – величини поверхневих натягів олії і води відповідно.

У загальному випадку для любих двох рідин, що не змішуються, оціночна величина ${}^d\gamma^1$ (${}^d\gamma^2$), де індекси 1 і 2 відповідають контактуючим рідинам, може бути отримана шляхом додавання парних потенціалів для всіх елементів на поверхні з усіма елементами у об'ємі, що дає

$${}^d\gamma^1 = \frac{\pi N_1^2 \alpha_1^2 I_1}{8r_{11}^2}, \quad (1.9)$$

де α_1 – поляризованість, I_1 – потенціал іонізації, N_1 – кількість молекул в одиниці об'єму, r_{11} – міжмолекулярна відстань для рідин типу 1. Для води величина складової дисперсних сил у поверхневому натязі становить 25,4 мН/м. При взаємодії між різнорідними фазами з розміром елементів, який забезпечує наявність 12 сусідніх елементів на поверхні, енергія взаємодії об'ємних елементів з поверхневою фазою 1 визначаються так:

$${}^d\gamma^{1,2} = \frac{\pi N_1 N_2 \alpha_1 \alpha_2 I_1}{4r_{12}^2} \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2}. \quad (1.10)$$

Використовуючи середнє-геометричне співвідношення, можна отримати:

$${}^d\gamma^{1,2} = ({}^d\gamma^{1,2} {}^d\gamma^2)^{1/2} = \frac{\pi N_1 N_2 \alpha_1 \alpha_2 I_1}{8r_{12}^2} \frac{I_1 I_2}{\sqrt{I_1 I_2}}. \quad (1.11)$$

Порівняння двох останніх рівнянь показує, що, виключаючи випадки, коли різниця значень r_{11} і r_{22} , а також I_1 і I_2 досить велика, середня геометрична величина дає задовільні значення міжмолекулярних сил на міжфазній границі. Фоукс [6] розрахував середнє значення ${}^d\gamma^w = 21,8 \pm 0,7$ мН/м, використовуючи експериментальні дані γ^{1V} , γ^{2V} і γ^{12} для восьми різних насичених вуглеводів на межі з водою. Аналогічно для ртуті з використанням даних для десяти рідких вуглеводів отримано значення ${}^d\gamma^M = 200 \pm 7$ мН/м. Для міжфазної взаємодії ртуть-вода рівняння (8) дає значення $\gamma^{1,2} = 424,8 \pm 4,4$ мН/м, що відповідає експериментальним значенням 426-427 мН/м. Очевидно, що взаємодія між такими рідинами майже повністю обумовлена дисперсійними силами.

Таким чином, поділ поверхневого натягу на компоненти, запропоноване Фоуксом, є адекватним реальній ситуації. Він виділив у крайньому разі сім складових взаємодій: дисперсійні сили, водневі зв'язки, взаємодію диполь-диполь, диполь-індукований диполь, π -зв'язки, донорно-акцепторні зв'язки, електрична взаємодія. Причому взаємодія між двома рідинами майже завжди визначається дисперсійними силами. Однак слід відмітити, що складові можуть бути взаємопов'язані і, згідно Гуду [1], взаємний вплив дисперсійної складової d_{γ} і диполь-дипольної складової P_{γ} не може бути дуже малим у випадках, коли у крайньому разі один з дипольних моментів по величині є більшим 1,5 одиниці Дебая [1].

Проведене дослідження моделей структур поверхонь розділу фаз дає основу для визначення квазікрайових умов при моделюванні процесів масопереносу включень з об'ємної фази у поверхневий шар. Розв'язок задачі масопереносу у процесі насичення поверхневого шару дає можливість теоретично обґрунтувати динаміку поверхневого натягу в залежності від кількісного і якісного складу контактуючих фаз. Крім того, деякі параметри структури поверхневого шару мають непрямий вплив на поведінку динамічної характеристики поверхневого натягу, що дає додаткову інформацію для якісного контролю речовин.

1.3 Постановка задачі дослідження

Проведений аналіз показав, що для покращення визначення динамічних характеристик, потрібно спроектувати таку вимірювальну систему, яка б дозволяла визначати тиск поверхневого натягу використовуючи метод вимірювання залишкового тиску при формуванні меніску в капілярі. Дана система повинна вимірювати малі тиски, забезпечуючи при цьому потрібну точність. Система визначення динамічних характеристик поверхонь розділу фаз, що здійснює вимірювання і обробку даних повинна бути обладнана

завадостійкою системою передавання даних. Система вимірювання і обробки даних повинна відповідати таким технічним параметрам:

- система повинна передавати інформацію за допомогою стандартного протоколу даних;

- система повинна забезпечувати вимірювання поверхневого натягу діапазоном $(10 - 100) \cdot 10^{-3} \text{Н/м}$;

- відстань, на яку буде передаватися інформація повинна становити 10 – 15м;

- відносна похибка при вимірюванні тиску поверхневого натягу повинна становити не більше 0.5%.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз методів визначення характеристик поверхонь розділу фаз

2.1.1 Методи лежачої і висячої краплі

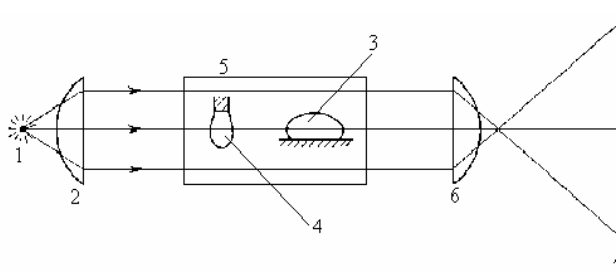
Методи лежачої і висячої краплі в експериментальному відношенні дуже близькі. Хоча вони і відрізняються в способах формування краплі, у головному – забезпеченні умов для одержання гарного зображення краплі і способах виміру координат точок профілю – вони практично не відрізняються. Загальний вид експериментальної установки, що реалізують той чи інший методи, схематично представлений на рисунку 2.1. Головними вузлами її є: джерело світла, колімаційна лінза, комірка з краплею, що знаходиться в ній, комірка оточена газом чи іншою рідиною, лінза, що збільшує зображення краплі, приймач зображення. Як джерело світла використовуються як газорозрядні лампи – ртутні, дугові, так і лампи розжарювання, наприклад звичайні вольфрамові. Як правило, вони забезпечуються фільтрами для одержання монохроматичного світла, а також матовим екраном, що служить для створення рівномірного освітлення й одночасно є тепловим екраном (у якості останнього дуже ефективно може працювати водяний фільтр). У роботі використовувався волоконно-оптичний спосіб підсвічування. Істотною умовою одержання зображення краплі, що відповідає меридіональному перетину, є паралельність проходячих променів. Це досягається використанням відповідної колімаційної лінзи. Іноді для цієї мети між джерелами світла і краплею ставиться діафрагма. Комірка, у якій знаходиться крапля, може бути виконана з будь-якого матеріалу, що підходить для досліджуваних систем і умов проведення досліду. Однак невід'ємною частиною комірки повинні бути вікна, виконані з оптичного плоского скла і розташовані перпендикулярно до оптичної осі вимірювальної установки. Як правило, вони виготовляються або з пірексного, або з кварцового скла. Внутрішній обсяг комірки може бути, у принципі, яким

завгодно, але звичайно з нижньою границею 1см^3 . Сталість температури, як правило, забезпечується наявністю в осередку термоізолюючої сорочки.

Як було сказано, основне розходження методів лежачої і висячої краплі полягає в способах формування краплі. Висяча крапля утворюється на кінці круглої трубки з добре обробленими краями – це може бути або скляна капілярна трубка, або звичайна гіподермічна голка з нержавіючої сталі. Трубка чи голка, як правило, з'єднані з мікрометричним шприцом для плавного дозування рідини для того, щоб як можна точніше утворити краплю необхідної форми. Лежача крапля може бути сформована стіканням рідини з кінчика трубки, що знаходиться над твердою поверхнею. Однак частіше лежачу краплю утворюють так само, як і висячу краплю, – на торці трубки, тільки поверненої кінцем ввєрх. У тих же випадках, коли як об'єкт дослідження виступає бульбашка – втягнута чи витягнута, – розміри трубки вибирається відповідним чином.

Діаметр кінчика трубки звичайно підбирається заздалегідь відповідно до необхідної форми краплі (лінія контакту краплі з твердою поверхнею може проходити як по зовнішньому краю торця трубки, так і по краю отвору). Потрібний діаметр кінчика можна, наприклад, оцінити в методі висячої краплі за допомогою графіка рисунок 2.2. При дослідженні систем з наднизьким міжфазним натягом ($\gamma < 10^{-2}$ мН/м), з використанням також висячої краплі з екватором, діаметр кінчика трубки повинний бути порядку 10–20 мкм. Типова комірка для висячої краплі при визначенні поверхневого натягу рідин зображений на рисунку 2.3. Конструкція цієї комірки передбачає можливість переміщення шприца 1 по вертикалі. На початку досліду, після приходу системи в рівновагу, шприц опускається вниз до занурення голки в нижню, важку рідину 4, і в нього всмоктується необхідна кількість рідини. Після цей шприц піднімається на таку висоту, щоб кінець голки знаходився приблизно посередині вікна 2 осередки, і вже в легкій рідині 3 формується крапля рідини 4[1]. Методи лежачої і висячої краплі часто використовуються при одержанні

електрокапілярних кривих. Комірка, в якій знаходиться крапля, одночасно є й коміркою електromетра. Приклад такої комірки представлений на рисунку 2.4.



1 – джерело світла; 2 – колімаційна лінза; 3 – лежача крапля; 4 – висяча крапля; 5 – комірка, в якій знаходиться крапля, яка оточена газом чи іншою рідиною; 6 – проєкційна лінза; 7 – площина відображення.

Рисунок 2.1 – Принципова схема експериментальної обстановки, яка реалізує метод лежачої і висячої краплі

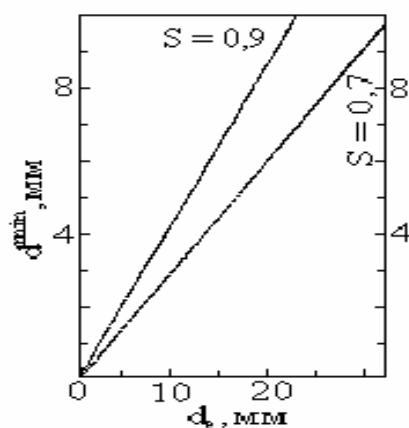
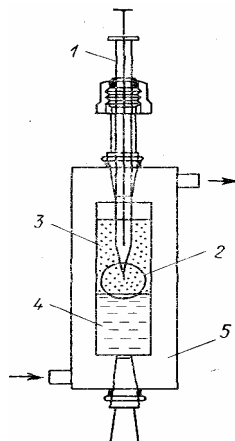


Рисунок 2.2 – Залежність мінімального діаметра кінця трубки d^{\min} від екваторіального діаметру краплі d_e

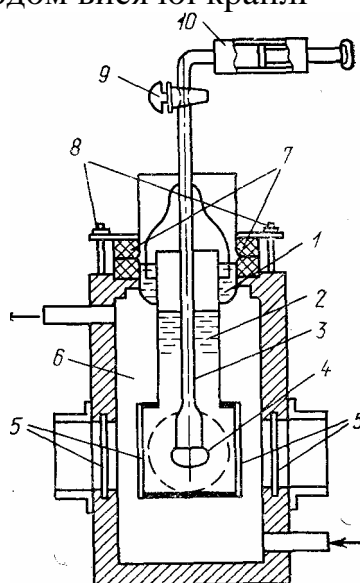
У цьому пристрої трубка 3 з утвореною на її кінці бульбашкою 4 кріпиться ізольовано від корпусу термостата з циркулюючою в ньому водою 6, що дозволяє уникати вібраційних збурювань бульбашки з боку установки. Подібна ізольованість трубки досягається за рахунок гідравлічного затвора 1 з використанням тієї ж рідини, що і досліджувана 2. Даний затвор охороняє також досліджувану рідину від випаровування і влучення в неї забруднень. Пристрій для формування бульбашки включає шприц 10, з'єднаний із трубкою 3 і краном

9. Одна з головних задач установки для визначення поверхневого натягу методом лежачої чи висячої краплі – одержання чіткого зображення (профілю) краплі з наступним його обмірюванням [1].



1 – шприц; 2 – вікно; 3 – легка рідина; 4 – важка рідина; 5 – термоізолююча рідина.

Рисунок 2.3 – Схема комірки для визначення поверхневого натягу рідин методом висячої краплі



1 – гідравлічний затвор; 2 – досліджувана рідина; 3 – трубка; 4 – бульбашка; 5 – вікна; 6 – термоізолююча вода; 7 – ущільнювач; 8 – притискаючий пристрій; 9 – кран; 10 – шприц.

Рисунок 2.4 – Схема пристрою в методі лежачої краплі з використанням втягнутої бульбашки

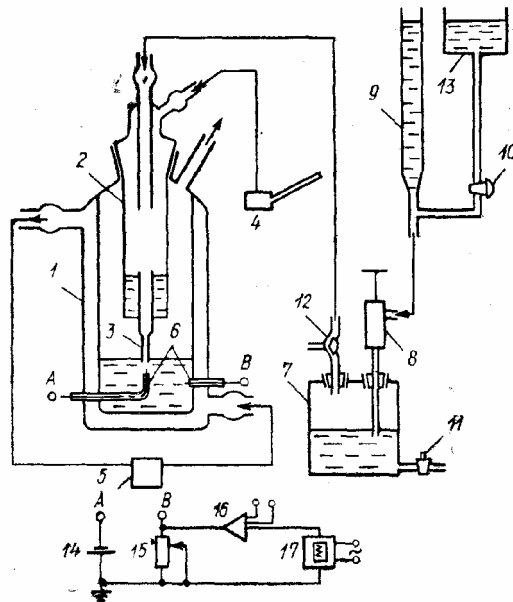
2.2 Методи границі стійкості меніска

Метод максимального тиску в крапі або бульбашці. В основу цього методу покладено формулу Лапласа, по якій легко визначити таку величину як капілярний тиск. Якщо він відомий, то для знаходження поверхневого натягу не потрібно знати всієї форми краплі, а достатньо знати кривизну міжфазної поверхні в якій-небудь одній точці. Ця ідея реалізована в методі максимального тиску, в якому вимірюється не будь-який, а максимальний тиск при видавлюванні із капіляра краплі або бульбашки. Метод максимального тиску використовується для визначення поверхневого натягу як на границі рідина – газ, так і на границі газ – газ.

Застосування методу максимального тиску на дослідження порівняно повільних процесів адсорбції і поверхневої релаксації (з часом більше 0,1с) не викликає складностей. Однак першої ж спроби перескочити в мілісекундний діапазон наштовхнулися на серйозні труднощі, зв'язані як з виміром, так і інтерпретацією даних. Справа в тім, що кожному значенню динамічного поверхневого натягу повинний відповідати визначений вік поверхні, знаходження якого і складає основну проблему. Насамперед, мабуть, потрібно вимірювати частоту бульбашок.

Електричний метод, придатний для рідин з слабкою електропровідністю (включаючи і воду), полягає в тому, що в рідину вводяться два електроди, один із яких міститься напроти вихідного отвору капіляра. При зіткненні бульбашки з електродом фіксується різке падіння струму в ланцюзі або зміна напруги на перемінному високоомному опорі. Як приклад на рисунку 2.5 зображена схема установки, що працює на цьому принципі. При напрузі на клеммах А – В 0,1В прилад зафіксував зміну напруги на опорі 15 при формуванні бульбашки у воді з питомою електропровідністю порядку $10^{-4}/\text{Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$. Перетворювач сигналів 16 підсилює лише перемінну (зв'язану з бульбашками) складову цієї зміни напруги. Для реєстрації сигналів використовується швидкодіючий записуючий вольтметр.

Визначений у такий спосіб інтервал часу τ_0 між бульбашками ще не є вік поверхні. Адже нас цікавить тільки час з моменту зародження бульбашки до досягнення максимального тиску (його називають часом життя бульбашки τ) і не цікавить час з моменту досягнення максимального тиску до відриву бульбашки (так названий мертвий час τ_d). Як уже указувалося вище, у момент досягнення максимального тиску чи навіть раніше порушується умова стійкості і бульбашка переходить у стан катастрофічного росту і розвалу. Подібні процеси відбуваються в природі дуже швидко, але в даному випадку для росту бульбашки необхідне повітря, а воно надходить тільки через капіляр, що вимагає визначеного часу.



1 – термостатуюча комірка; 2 – випарник; 3 – капіляр; 4 – мікроманометр; 5 – термостат; 6 – платинові електроди; 7 – проміжна ємність; 8 – голчастий регулятор витрати рідини; 9 – мікробюретка; 10, 11 – двоходові крани; 12 – трьохходовий кран; 13 – напірна судина; 14 – елемент харчування; 15 – перемінний опір; 16 – перетворювач-підсилювач сигналів; 17 – швидкодіючий записуючий вольтметр; А і В – клеми, з'єднані з електродами 6.

Рисунок 2.5 – Схема установки для визначення динамічного поверхневого натягу методом максимального тиску в бульбашці

2.2.1 Метод падаючої краплі.

Змусити бульбашку проскочити через отвір можна двома шляхами: збільшити тиск у газовій фазі (що робиться в методі максимального тиску) або зменшити тиск у рідині, підвісивши її, наприклад, у виді стовпа на меніску. Останнє і робиться в методі падаючого меніска. Можна сказати, що метод падаючого меніска є обернений метод до максимального тиску. Теорія обох методів, природно, та сама.

Щоб пояснити принцип методу, проведемо наступний уявний експеримент. Візьмемо трубку, яка звужується до кінця з малим отвором на кінці, що має гострі краї (рисунок 1.6), і, зануривши її спочатку цілком у рідину, будемо витягати з рідини, тримаючи кінцем вгору. Якщо матеріал трубки змочується рідиною, то стовп рідини до пори до часу залишається всередині трубки, а в отворі формується бульбашка, оскільки тиск з боку рідини біля поверхні меніска буде на висоту стовпа рідини менше атмосферного. В міру витягування трубки стовп рідини буде усе вище, тиск рідини в поверхні меніска усе менше, а бульбашка стає усе більше в розмірах і усе сильніше втягується в рідину. По досягненні максимальної різниці тисків і відповідної їй максимальної висоти стовпа рідини меніск проривається, і стовп обрушується. Висота, яка фіксується мабуть, і є h^{\max} , що при відомому радіусі отвору дає можливість оцінити поверхневий натяг.

Якщо поверхневий натяг міняється в часі, то методику проведення досліду можна змінити: чекати колапсу при заданій висоті стовпа. Вивчивши час життя меніска як функцію висоти стовпа рідини, одержимо повну інформацію про поведінку динамічного поверхневого натягу.

Таким чином, метод падаючого меніска як динамічний метод вигідно відрізняється від методу максимального тиску в бульбашці відразу в двох відносинах. По-перше, довжина капіляра, через який засмоктується повітря при падінні меніска, дуже мала, так що мертвий час у цьому методі практично дорівнює нулю. По-друге, завдяки тому, що меніск повідомляється з великою поверхнею, час життя бульбашки збігається з віком поверхні. Відпадають

відразу дві процедури – визначення мертвого часу і перерахування від часу життя пухирця до віку поверхні, що у методі максимального тиску не тільки трудомісткі, але і вносять трудноконтролюючу похибку. Однак велику свіжу поверхню миттєво створити неможливо, і в методі падаючого меніска виникає проблема невизначеності віку вихідної свіжої поверхні (у момент, від якого ведеться відлік часу), якщо процеси протікають швидше, ніж за секунду. Для більш повільних процесів адсорбції метод дає надійні результати. Прилад, який використовує метод падаючого меніска наведений на рисунку 2.7.

Метод падаючого меніска міг би застосовуватися і для статичних вимірювань як метод максимального тиску. Недоліки останнього як статичного методу є в методі падаючого меніску, але до них добавляються вимоги змочування трубки, тобто вимога крайового кута, що зразу звужує можливість застосування.

2.3 Спеціальні динамічні методи визначення поверхневого натягу

Метод рідкої завіси. Представимо вільно поточну вертикально вниз рідку плівку між двома направляючими стрижнями, що змочуються, (рис. 2.8). Якщо на шляху цієї рідкої завіси установити перешкоду (скажемо, стержень, що пробиває завісу), то плівка зруйнується або збережеться. Останнє відбудеться, якщо на кожній ділянці плівки виконується умова

$$2\gamma/vQ < 1, \quad (2.1)$$

де γ – поверхневий натяг; v – середня локальна швидкість завіси; Q – потік маси через одиницю ширини завіси.

При виконанні умови (2.1) завіса зберігається єдиною, якщо перешкода гарно змочується або розбивається на два рукава (рисунок 2.8), якщо перешкода зроблена з матеріалу, що незмочується. Саме останній випадок відкриває можливість виміру динамічного поверхневого натягу.

Для виведення співвідношення, що зв'язує поверхневий натяг γ з кутом α відхилення рукава завіси від вертикалі (рисунок 2.8), використано умову балансу імпульсу.

$$2\gamma = Q v \sin^2 \alpha \quad (2.2)$$

Співвідношення (2.2) було перевірено в експерименті з рідиною (гліцерином) з відомим значенням поверхневого натягу. Зокрема, установлена чітка кореляція між відстанню L , від верхнього краю завіси і кутом α (чим більше L , тим більше швидкість v і тим менше α).

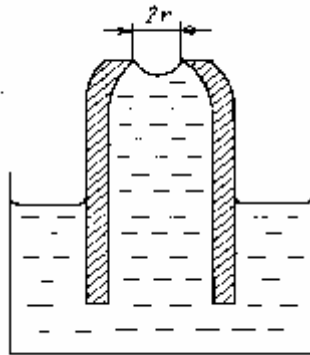


Рисунок 2.6 – Принцип дії падаючого меніска

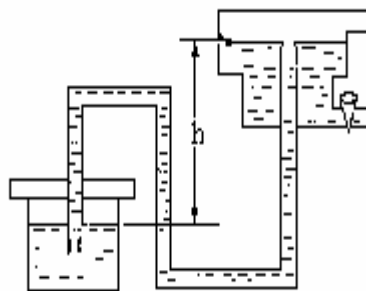


Рисунок 2.7 – Схема приладу з падаючим меніском

Для виведення співвідношення, що зв'язує поверхневий натяг γ з кутом α відхилення рукава завіси від вертикалі (рисунок 2.8), використано умову балансу імпульсу.

$$2\gamma = Q v \sin^2 \alpha \quad (2.4)$$

Співвідношення (2.4) було перевірено в експерименті з рідиною (гліцерином) з відомим значенням поверхневого натягу. Зокрема, установлена чітка кореляція між відстанню L , від верхнього краю завіси і кутом α (чим більше L , тим більше швидкість v і тим менше α).

Співвідношення (2.4) дозволяє визначити поверхневий натяг в динамічних умовах. Для цього потрібно виміряти швидкість v , потік маси Q через одиницю ширини завіси і кут α . Найбільші труднощі викликає визначення v .

Метод капілярних хвиль.

При переході від вертикального струменя до горизонтальної поверхні рідини поведінка хвиль на поверхні буде визначатися вже не тільки поверхневим натягом, але і гравітацією. Такі хвилі називають капілярно-гравітаційними. Для випадку ідеальної чистої рідини першу теорію капілярно-гравітаційних хвиль створив Кельвін. Його теорія приводить до простого співвідношення:

$$v^2 = g\lambda/2\pi + 2\pi\gamma/\rho\lambda, \quad (2.5)$$

де v – фазова швидкість поширення хвилі; g – прискорення сили тяжіння; λ – довжина хвилі; γ – поверхневий натяг; ρ – густина рідини.

З (2.5) видно, що швидкість поширення довгих хвиль визначається гравітацією, а коротких – поверхневим натягом. Ці короткі хвилі і називають капілярними. Потрібно виміряти частоту коливань (звичайно вона задається в досліді) і довжину хвилі (амплітуда коливань передбачається малою).

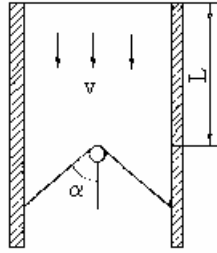
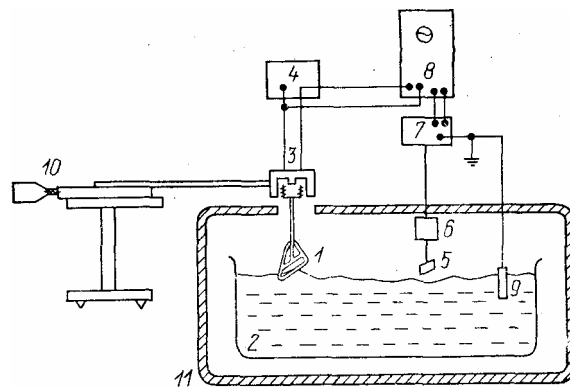


Рисунок 2.8 – Рідка завіса, що зустрічає перешкоду, що незмочується



1 – механічний генератор; 2 – кювети з розчином; 3 – електродинамічний вібратор; 4 – електричний генератор синусоїдального струму низької частоти; 5 – металева пластинка; 6 – підсилювач; 7 – селективний підсилювач; 8 – осцилограф; 9 – платиновий електрод; 10 – мікрометричний гвинт; 11 – повітряний термостат.

Рисунок 2.9 – Схема установки для визначення поверхневого натягу і коефіцієнта загасання капілярних хвиль

Як уже відзначалося, формула Кельвіна відноситься до ідеальної рідини. При переході до в'язких рідин і особливо до розчинів ПАР з вязкопружними поверхневими властивостями теорія капілярних хвиль сильно ускладнюється. Як і для струменів, теорія коливань на плоскій поверхні заснована на аналізі гідродинамічних рівнянь. Самі гідродинамічні рівняння діють при довільних частотах і довжинах хвиль, але облік граничних умов між дотичними фазами

приводить до встановлення зв'язку між частотою і довжиною хвилі, що дається дисперсійним співвідношенням.

Як приклад на рисунку 2.9 приведена схема установки з детектором капілярних хвиль у виді динамічного конденсатора. Генератором хвиль є скляна трубка, що дотикається поверхні, (або стержень), з'єднана з електродинамічним вібратором, а приймачем хвиль – динамічний конденсатор, однією з обкладок якого є сама досліджувана поверхня (у рідину вноситься заземлений платиновий електрод), а іншою – повітряний електрод, що знаходиться над поверхнею, (металева пластинка, підвішена вертикально й орієнтована своїм нижнім краєм паралельно поверхні і перпендикулярно напрямку руху хвиль). При товщині пластинки менше довжини хвилі (а краще – менше напівхвилі) в результаті коливань поверхні рідини ємність динамічного конденсатора періодично міняється. Виникаючий у його ланцюзі перемінний струм (пропорційний амплітуді хвиль) після посилення подається на осцилограф. Туди ж подається і напруга від електричного генератора, що приводить до появи на екрані осцилографа фігур Ліссажу, що відбивають різницю фаз[1].

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Узагальнення характеристик методів визначення характеристик поверхонь розділу фаз

Як видно на даний час існує велика кількість методів вимірювання поверхневого натягу. Можна навести класифікацію найбільш розповсюджених методів вимірювання поверхневого або міжфазного натягу (табл 3.1). Як видно з більшості відомих методів використовуються для вимірювання рівноважного поверхневого натягу, деякі з них можна використати для вимірювання динамічного поверхневого натягу. Для вимірювання низьких значень міжфазного натягу з перелічених у табл. 3.1 методів використовується тільки один — обертової краплі. Різні методи вимірювання динамічного поверхневого натягу використовуються залежно від часу встановлення рівноважного поверхневого натягу (рис. 3.1).

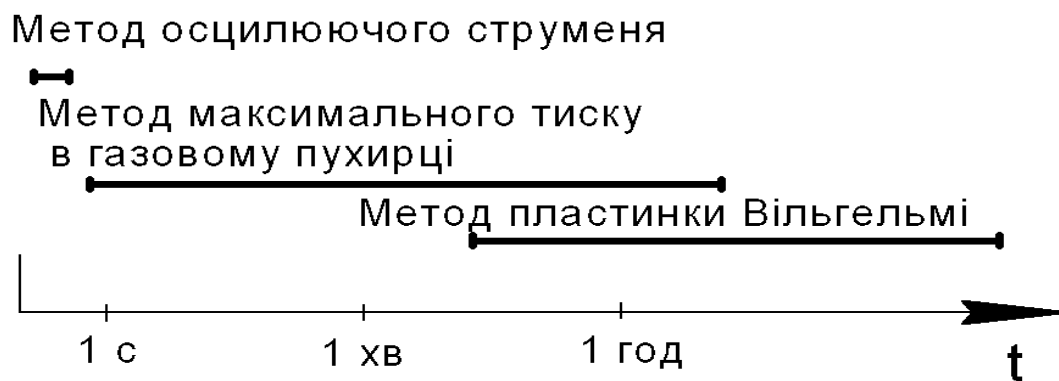


Рисунок 3.1 – Використання різних методів вимірювання динамічного поверхневого натягу.

Таблиця 1.1 – Класифікація різних методів вимірювання поверхневого та міжфазного натягів.

Назва методу	Рівноважний		Динамічний	
	Поверхневий натяг	Міжфазний натяг	Поверхневий натяг	Міжфазний натяг
По профілю лежачої або звисаючої краплі	Успішно використовується 0,5–100 мН/м	Не використовується	Не використовується	Не використовується
Пластинки Вільгельмі. Кільця Дю Нуї	Успішно використовується 1–1000 мН/м	Не використовується	Частково використовується 1–1000 мН/м	Не використовується
Максимального тиску в газовому пухирці	Використовується 10–100 мН/м	Не використовується	Використовується 10–100 мН/м	Не використовується
Ваги крапель	Використовується 10–100 мН/м	Використовується 0,05–2 мН/м	Використовується 10–100 мН/м	Не використовується
Обертової краплі	Не використовується	Успішно використовується 10^{-4} –100 мН/м	Не використовується	Не використовується
Осцилюючого струменя	Не використовується	Не використовується	Використовується 6–40 мН/м	Не використовується

3.2 Функціональний синтез системи

Однією з найбільш перспективних інструментальних реалізацій вимірювання, контролю та діагностики характеристик поверхонь розділу фаз є метод, що базується на зміні тиску у висячій краплі сталого об'єму, що

утворюється на вістрі ножового капіляра. Переваги запропонованого методу полягають:

- у відносній простоті реалізації;
- можливості повної автоматизації процесу вимірювання;
- автоматичному оновленні чутливого елемента (поверхні розділу фаз) при кожному циклі виміру;
- можливість оперативного контролю у реальному масштабі часу;
- можливість розміщенням первинних перетворювачів безпосередньо у зоні контролю;
- універсальність конструкції первинних перетворювачів щодо компонентів, що підлягають дослідженню (під конкретні компоненти підбираються тільки програмне забезпечення обробки результатів вимірювання та індикаторна рідина);
- можливість створення єдиної автоматизованої системи контролю довкілля з розподіленими у просторі точками вимірювання.

Найпростішою інструментальною реалізацією запропонованого методу є циклічне занурення ножового капіляра у ємність з контрольованою рідиною (при аналізі самої рідини), або спеціально підбраною рідиною (при аналізі оточуючого середовища) з наступним дослідженням, у газовому середовищі, зміни міжфазного натягу по вимірюваному тиску у рідинному меніску. При зануренні відбувається оновлення поверхні розділу фаз з подальшою модифікацією поверхні утвореної висячої краплі за рахунок внутрішньої адсорбції при дослідженні рідини (рис. 3.1а), або зовнішньої при дослідженні довкілля (рис. 3.1б).

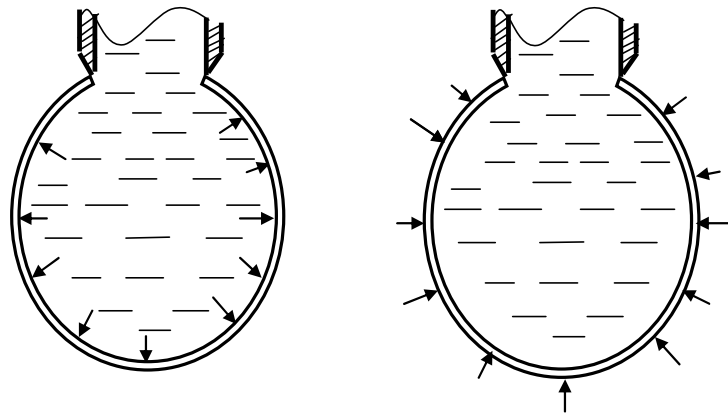


Рисунок 3.1- Модифікація капілярних поверхонь за рахунок внутрішньої (а) і за рахунок зовнішньої (б) адсорбції

3.2.1 Загальна структура

Функціональна структура складається функціональних елементів, кожен з яких виконує лише певну, притаманну йому функцію. На основі функціональної схеми розробляється електрична принципова схема пристрою. Функціональна схема вимірювального блоку зображена на рисунку 3.2.

Розглянемо алгоритм роботи функціональної схеми. При ввімкненні пристрою відбувається початкова ініціалізація мікроконтролера МК і він починає виконувати команди програми, починаючи з першої. Тиск, який вимірює давач тиску, перетворюється в аналоговий сигнал. Аналоговий сигнал $0 \div 50$ мВ від давача тиску Д подається на масштабуючий підсилювач МП, де підсилюється до напруги $0 \div 10$ В.

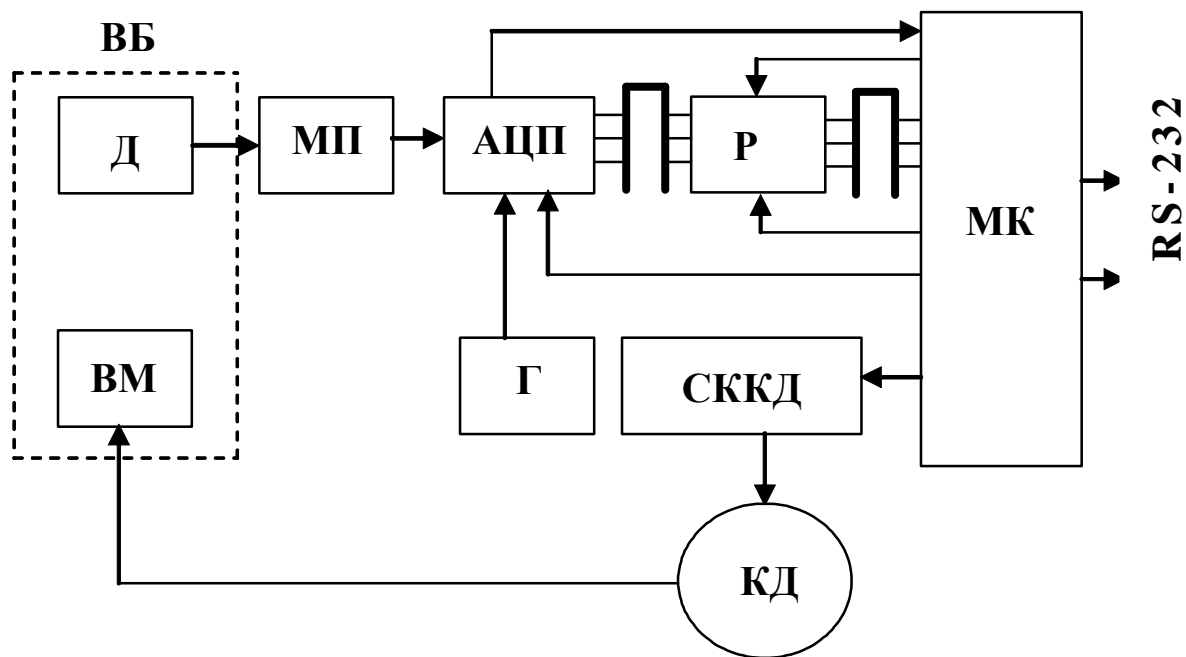
Аналоговий сигнал $0 \div 10$ В подається на аналого-цифровий перетворювач АЦП, на який подаються тактові імпульси з генератора Г і одночасно мікроконтролер подає сигнал на АЦП для його запуску. При подачі 14 тактових імпульсів з генератора, АЦП перетворює аналоговий сигнал в 12-ти розрядний двійковий код. Двійковий код записується в регістр Р при подачі дозволу роботи мікросхем регістрів і наявності сигналу дозволу запису даних в регістр. Дані з регістру записуються в мікроконтролер, порівнюються із значенням гідростатичного тиску у вимірювальному блоці ρgh , якщо визначене значення тиску буде рівне значенню ρgh , то мікроконтролер подає сигнал в схему

керування кроковим двигуном СККД, яка керує роботою крокового двигуна КД. Кроковий двигун пересуває виконавчий механізм ВМ до цих пір, поки вимірний тиск і ρgh не зрівняються. Після цього починається формування краплі сталого об'єму. Великою об'єму керує мікроконтролер через схему керування кроковим двигуном і виконавчий механізм. Після створення краплі постійного об'єму починається процес вимірювання концентрації шкідливих речовин в повітрі. Всі речовини, які знаходяться в повітрі попадають в краплю води і тиск починає зменшуватися. Процес вимірювання проходить на протязі 5с і дані на комп'ютер передаються за допомогою інтерфейсу RS-232C.

Після процесу вимірювання відбувається процес оновлення краплі, яким керує мікроконтролер через схему керування кроковим двигуном і виконавчий механізм. Мікроконтролер кожних 2 хвилини подає команду на АЦП почати новий процес вимірювання концентрації шкідливих речовин в повітрі. Новий процес починається з вимірювання тиску у ВБ, його перетворенні в цифровий код і т.д.

Для зв'язку з ЕОМ чи іншим зовнішнім пристроєм і для передавання даних відбувається за допомогою інтерфейсу RS-232C. Дані в RS-232C передаються в послідовному коді побайтно. Кожний байт супроводжується стартовим і стоповими бітами. Дані можуть передаватися як в один, так і в інший бік (дуплексний режим).

У стандарті RS-232C для передачі і прийому даних використовується одна віта пара проводів, іноді супроводжується екраном або загальним дротом. Передача даних здійснюється за допомогою диференціальних сигналів. Різниця напруг між провідниками однієї полярності означає логічну одиницю, різниця іншої полярності - нуль. Швидкості обміну 62,5 кбіт/с, 375 кбіт/с, 2400 кбіт/с обумовлені стандартом RS-232C. На швидкостях обміну понад 500 кбіт/с рекомендується використовувати екрановані виті пари [8].



ВБ – вимірювальний блок; Д – давач тиску; МП – масштабуючий підсилювач; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; Р – регістр; МК – мікроконтролер; СККД – схема керування кроковим двигуном; ВМ – виконавчий механізм;
Г – генератор; КД – кроковий двигун.

Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Вибір елементів функціональної схеми

4.1.1 Давач тиску

Для вимірювання значення диференційного тиску, в тому числі і визначення максимумів вимірювальний блок має в своїй основі диференційний давач тиску MPXV7002DP (рис.4.1) Перетворювач MPXV7002 DP - сучасний монолітний кремнієвий давач тиску, спроектований для широкого діапазону застосувань, його особливість в тому, що він містить мікроконтролер з введеним А/Д. Цей давач має металізацію, і двополюсну обробку, щоб забезпечити точність високого аналогового сигналу на виході, який є пропорційним до прикладеного тиску. Даний елемент вже є каліброваним і компенсованим по температурі.

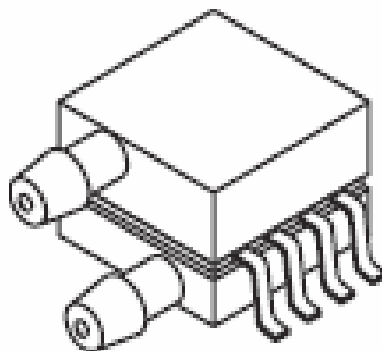


Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд схема давача тиску MPXV7002 DP (CASE 1351-01)

Диференційний давач MPXV7002 DP представляє собою мікросхему виготовлену із термопластики з гладкою сталеву поверхнею з виведеним провідниковим кріпленням. Всередині конструкції є дротяний зв'язок і основа закріплені гелево - силіконовим покриттям. Мікросхема має 8 контактів (ніг) з яких другий – відповідає напрузі живлення, третій є заземленням, а четвертий

вихідна напруга, контакти 1, 5, 6, 7 і 8 – не під'єднується у пакетному пристрої (рис.4.2).

Блок диференційного давача тиску MPXV7002 DP допускає роботу при діапазоні температур від +10 до +35°C та відносній вологості повітря до 90% при 25°C. Основні технічні параметри диференційного давача тиску MPXV7002 DP зазначені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Основні технічні параметри диференційного давач тиску MPXV7002DP

Параметр	Діапазон
Тип давача тиску	MPXV7002DP
Живлення давача тиску: – постійна напруга, В – максимальний струм, мА	5±0,25 10
Чутливість давача тиску, В/кПа	1
Діапазон вимірювання різниці тисків, кПа	-2...2
Вихідна напруга, В	±2+2,5
Діапазон різниці тисків водяного манометра, кПа	±1
Максимально можливий робочий тиск, кПа	±2
Максимально допустимий тиск, кПа	8
Точність, %	2,5
Клас захисту від ураження електричним струмом	I
Габаритні розміри, мм, не більше: – ширина – висота – товщина	7 48,5 39
Температура зберігання, °С	-30 - +100
Час опитування, мс	1

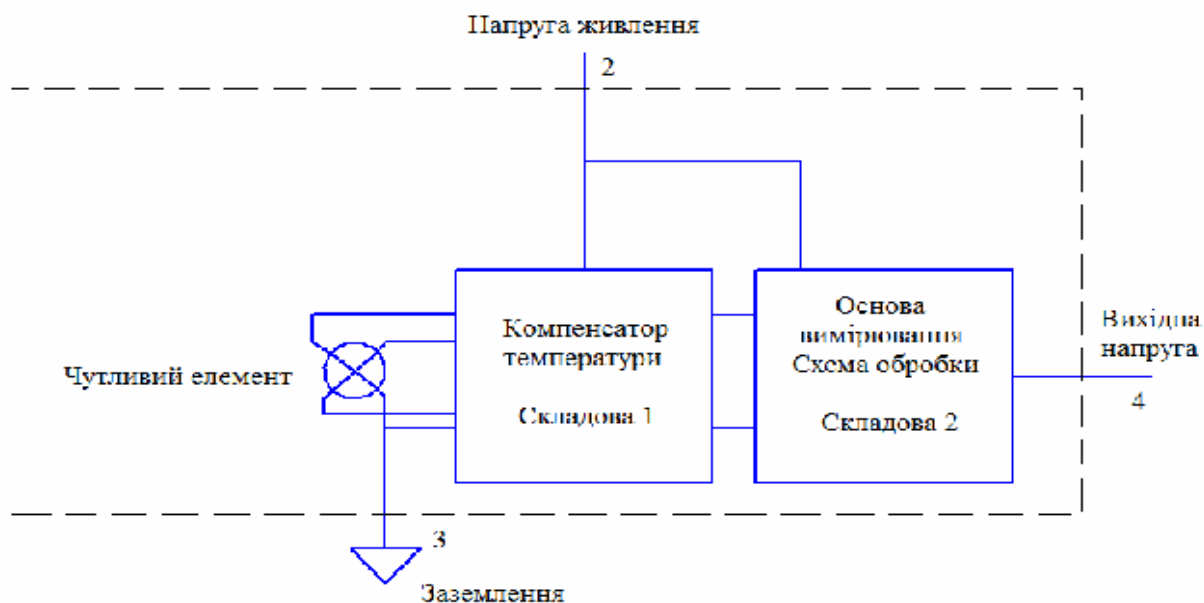


Рисунок 4.2 - Інтегральна схема давача тиску MPXV7002 DP

Компенсація впливу температури досягається шляхом інтеграції зсувних напружень тензодатчика. Схема температурної компенсації, калібрування і схема формування сигналу формуються на одному монолітному кристалі. На рис.4.3 показана конфігурація датчика Шар гелю ізолює діафрагму поверхні та провід зв'язку від навколишнього середовища, і дозволяє тиску передаватися на датчик діафрагми.

Рекомендована розв'язка підключення живлення і вихідного фільтру на мікроконтролер наведено на рисунку 4.4.

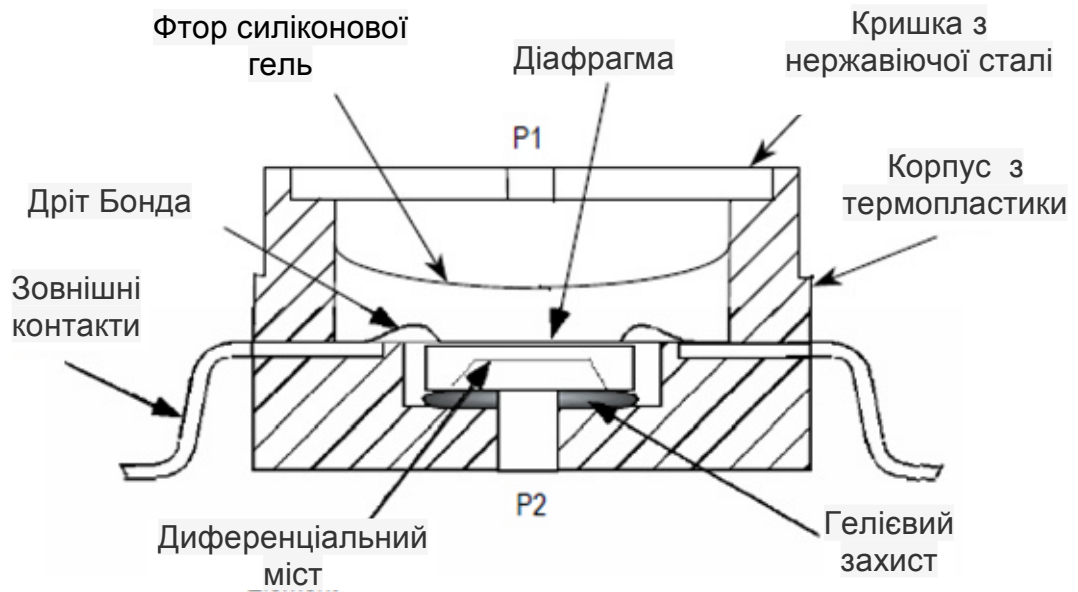


Рисунок 4.3 – Структура давача тиску MPXV7002 DP

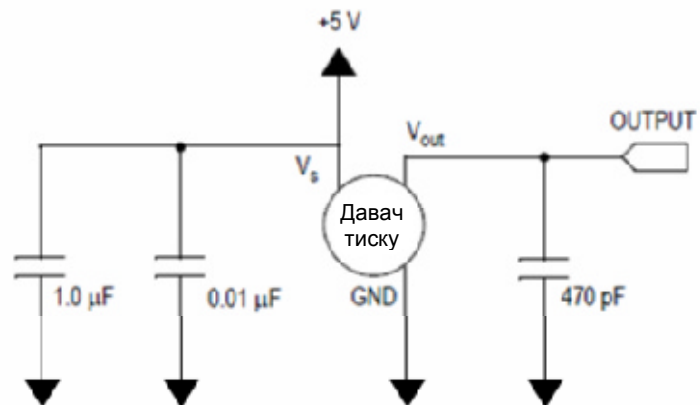


Рисунок 4.4 – Рекомендована розв'язка підключення живлення і виходу давача тиску MPXV7002 DP

Градуїрочна характеристика давача з максимальними відхиленнями при роботі в діапазоні температур від 10° до 60°С наведено на рисунку 4.5.

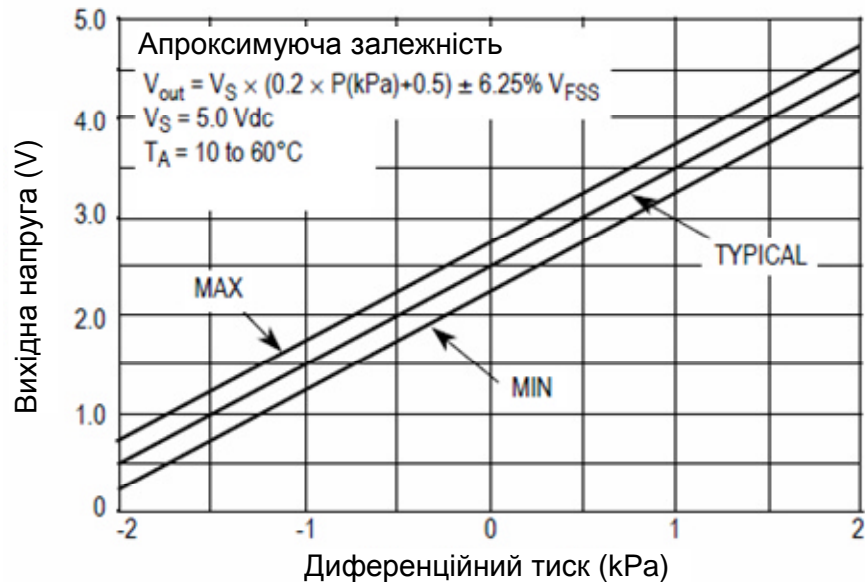


Рисунок 4.5 – Передавальна характеристика датчика MPXV7002 DP

4.1.2 Аналого-цифровий перетворювач (АЦП)

Аналого-цифровий перетворювач являє собою пристрій, який перетворює аналогову напругу в цифровий код. Потім даний код обробляється мікропроцесорним пристроєм.

В нашому випадку АЦП повинен відповідати таким вимогам:

- забезпечувати потрібну точність перетворення і не погіршувати точність вимірювань, яку забезпечує датчик;
- забезпечувати потрібну частоту перетворення.

Точність перетворення залежить від розрядності АЦП. Так, 10-розрядне АЦП має 1024 рівнів квантування, що дає нам похибку близько 1 Па, що є дещо недостатньо, тому для даної системи ми виберемо 12-розрядне АЦП. Оскільки процес, який ми вимірюємо є досить тривалий в часі, то практично будь-яке АЦП може забезпечити потрібну частоту перетворення. Вітчизняною промисловістю виготовляється лише один тип 12-розрядного АЦП. Це КР572ПВ1 [12]. Тому ми виберемо дане АЦП для реалізації вимірювальної

системи. КР572ПВ1 являє собою мікросхему в керамічному корпусі з 40-а контактами. Параметри даного АЦП наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Основні параметри АЦП КР572ПВ1

Параметри	Мінімаль	Максималь
Число розрядів	12	
Нелінійність, %	-0.05	0.05
Диференціальна нелінійність, %	-0.1	0.1
Абсолютна похибка перетворення	-127	127
Вихідна напруга низького рівня, В		0.3
Вихідна напруга високого рівня, В	2.4	
Струм споживання I_{cc1} , мА		3
Струм споживання I_{cc2} , мА	5	

1 - послідовний вхід;

2 - вхід керування СР;

3 - напруга живлення U_{cc1} ;

4 - 15-цифровий вхід-вихід (від СР до МР);

16- вхід керування МР;

17- вхід керування режимом;

18- вхід Цикл;

19- вхід порівняння;

20- напруга U_{cc2} ;

21- вхід ТІ;

22- вихід кінець перетворення;

23- вхід запуск;

34- вхід Цикл;

26- вхід стробування ЦАП;

27- цифрова земля;

28- кінцевий вивід РМ R-2R;

29- загальний вивід резисторів R/2 і R/4;

31- вивід резистора R/4;

- 32- вивід резистора R/2;
- 33- опорна напруга U_{ref} ;
- 24- аналоговий вхід 1;
- 35- аналоговий вхід 2;
- 37- загальний вивід резисторів аналогових входів 1 і 2;
- 38- аналоговий вихід 1;
- 39- аналоговий вихід 2;
- 40- аналогова земля.

Перетворювач працює від двох джерел живлення: $U_{cc1}=(5\div 15)V\pm 5\%$ і $U_{cc2}=15V\pm 5\%$. Гранично допустимі і граничні значення параметрів даного перетворювача наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Гранично допустимі і граничні значення параметрів АЦП

Параметри	Гранично допустимі		Граничні	
	Min	Max	Min	Max
Опорна напруга U_{ref} , В	-10.29	10.29	-15	15
Вхідна напруга високого рівня, В	-2.4	5.25	2.4	17
Вхідна напруга низького рівня, В	0	0.4	0	0.4
Напруга високого рівня на вході порівняння і вході Цикл, В	10	15.75	10	17
Вихідний струм високого рівня мА	–	0.04	–	0.04;1
Вхідний струм низького рівня, мА	–	0.4	–	0.4;3

Схема включення даної мікросхеми в режимі АЦП зображена на принциповій електричній схемі вимірювальної системи, яка входить до графічної частини.

4.1.3 Мікроконтролер

Висока продуктивність сімейства мікроконтролерів PIC16Cxx обумовлена значною кількістю архітектурних властивостей, притаманних RISC-мікропроцесорам. Із самого початку PIC16Cxx будувались на основі

Гарвардської архітектури, де програма і дані мали доступ до відокремлених областей пам'яті по відокремлених шинах. Це поширило можливості класичної найманівської архітектури, де програма та дані мають спільну пам'ять із спільною шиною доступу. Відокремлення програмної шини від шини даних дозволило змінити традиційну 8-розрядну довжину слова команди, яка була обумовлена байтовою організацією даних. Слово команди має довжину 14 біт, що дозволило забезпечити виконання команди на протязі одного циклу команди. 14-розрядна пам'ять програм забезпечує доступ до неї через 14-розрядну шину на протязі одного циклу. Двостадійна конвеєрна обробка реалізує перекривання операцій читання та виконання двох команд одночасно. Відповідно, всі 35 команд виконуються на протязі одного циклу, за винятком команд розгалуження.

Регістр файлу пам'яті даних R16Cxх можуть адресуватись прямим і непрямим шляхом. Всі регістри спеціальних функцій, включно із програмним лічильником PC, відображені в пам'яті даних. Система команд R16Cxх є ортогональною (симетричною), що дозволяє виконувати будь-яку операцію з будь-яким регістром із використанням будь-якого способу адресації. Ортогональність та відсутність “ спеціальних оптимальних ситуацій ” роблять програмування контролерів R16Cxх простим, але тим не менш ефективним.

Пристрої R16Cxх містять 8-розрядний АЛП і робочий регістр (акумулятор). АЛП виконує арифметичні та булеві функції між даними в акумуляторі та будь-якому з регістрів файлу. АЛП здатний виконувати команди додавання, віднімання, логічні команди та команди зсуву. Якщо інакше не вказано, арифметичні команди оперують із двома операндами, представленими в доповнюючому коді. Двооперандні команди, як правило, один з операндів розміщують в регістрі W. Другий операнд розміщується в регістрі файлу або є безпосередньо вказаною константою. В однооперандних командах операнд може розміщатись або в регістрі W, або в регістрі файлу.

Регістр W є 8-розрядним регістром, недоступним для адресації, який використовується АЛП для виконання операцій.

В залежності від виконання команди АЛП може впливати на стан прапорців C, DC і Z в регістрі STATUS. Біти C та DC виступають як біти позики та тетрадної позики відповідно.

Основним елементом схеми є мікроконтролер PIC16F876 фірми Microchip Technology Incorporated. В таблиці 4.4 наведені його основні технічні параметри, а у таблиці 4.5 описано призначення виводів мікроконтролера PIC16F876.

Таблиця 4.4 – Параметри мікроконтролера PIC16F876

Параметр	PIC16F876
Максимальна тактова частота	DC = 20 МГц
FLASH пам'ять програм (14-розрядних слів)	8 К
Пам'ять даних (байт)	368
EEPROM пам'ять даних (байт)	256
Переривань	13
Порти вводу/виводу	Порт А, В, С
Таймери	3
Модулі послідовного інтерфейсу	MSSP, USART
Модуль 10-розрядного АЦП	5 каналів
Інструкцій	35

Таблиця 4.5 – Призначення виводів мікроконтролера PIC16F876

Позначення виводу	№ виводу	Тип I/O/P	Тип буфера	Опис
1	2	3	4	5
OSC1/CLKIN	9	O	ST/CMOS	Вхід генератора/вхід зовнішнього тактового сигналу
OSC2/CLKOUT	10	I/P	–	Вихід генератора
MCLR/V _{PP}	1	I/O	ST	Вхід скидання мікроконтролера або вхід напруги програмування
Двонаправлений порт вводу/виводу PORTA.				
RA0/AN0	2	I/O	TTL	A0/ аналоговий канал 0
RA1/AN1/	3	I/O	TTL	A1/ аналоговий канал 1
RA2/AN2/V _{REF-}	4	I/O	TTL	A2/ аналоговий канал 2/ вхід від'ємної опорної напруги
RA3/AN3/V _{REF+}	5	I/O	TTL	A3/ аналоговий канал 3/ вхід додатної опорної напруги
RA4/T0CKI	6	I/O	ST	A4/ вхід зовнішнього тактового сигналу для TMR0
RA5/-SS/AN4	7	I/O	TTL	A5/ аналоговий канал 5/ вхід вибору мікросхеми в режимі SPI
Двонаправлений порт вводу/виводу PORTB.				
RB0/INT	21	I/O	TTL/ST	B0/вхід зовнішніх переривань
RB1	22	I/O	TTL	B1
RB2	23	I/O	TTL	B2
RB3/PGM	24	I/O	TTL	B3/ вхід для режиму низьковольтного програмування
RB4	25	I/O	TTL	Переивання по зміні рівня вхідного сигналу
RB5	26	I/O	TTL	Переривання по зміні рівня вхідного сигналу
RB6/PGC	27	I/O	TTL/ST	Переривання по зміні рівня вхідного сигналу/ для внутрішньосистемного відлагодження ICD/ тактовий вхід в режимі програмування.

Продовження таблиці 4.5.

RB7/PGD	28	I/O	TTL/ST	Переривання по зміні рівня вхідного сигналу/ для внутрішньосистемного відлагодження ICD/ вивід даних в режимі програмування.
Двонаправлений порт вводу/виводу PORTC.				
RC0/T1OSO/T1CKI	11	I/O	ST	C0/ вихід генератора TMR1/ вхід зовнішнього тактового сигналу для TMR1
RC1/T1OSI/CCP2	12	I/O	ST	C1/ вхід генератора для TMR1/ вивід модуля CCP2
RC2/CCP1	13	I/O	ST	C2/ вивід модуля CCP2
RC3/SCK/SCL	14	I/O	ST	C3/ вхід-вихід тактового сигналу в режимі SPI і I ² C
RC4/SDI/SDA	15	I/O	ST	C4/ вхід даних в режимі SPI/ вхід-вихід даних в режимі I ² C
RC5/SD0	16	I/O	ST	C5/ вихід даних в режимі SPI
RC6/TX/CK	17	I/O	ST	C6/ вивід передавача USART
RC7/RX/DT	18	I/O	ST	C7/ вивід приймача USART
V _{SS}	8,19	P	–	Спільний вивід для внутрішньої логіки і портів вводу/виводу
V _{DD}	20	P	–	Додатня напруга живлення для внутрішньої логіки і портів вводу/виводу

В якості тактового генератора для мікроконтролера використаний зовнішній кварцовий генератор зібраний за допомогою мікросхем DD1.1, DD1.2 і DD1.3, резисторів R3 і R4, і кварцового резонатора ZQ1. Частота імпульсів генератора задається кварцовим резонатором і складає 1 МГц. Імпульси поступають на вхід зовнішнього тактового сигналу мікроконтролера (вивід 9).

В звичайному режимі мікроконтролер здійснює прийом даних від АЦП через кожні 2 хв. Отримані дані записуються в пам'ять мікроконтролера.

Для створення затримки в 2 хвилини, через які здійснюється прийом даних, використовується таймер 1 (TMR1). Модуль TMR1 є 16-розрядним

таймером-лічильником, який складається з двох 8-розрядних регістрів TMR1H, TMR1L, які є доступними для запису та читання. Таймер 1 включаємо в режимі лічильника встановленням біту TMR1CS. Загальна частота без поділювача рівна $F_{osc}/4=250$ кГц ($F_{osc}= 1$ МГц). Оскільки таймер 1 є 16-розрядним, то інкрементуватись він буде з частотою 65536 Гц.

Для прийому/передачі даних на пункт керування через систему зв'язку використовується синхронно-асинхронний приймач-передавач USART.

Для реалізації процедури приймання необхідно попередньо встановити в „1” такі біти в регістрі RCSTA:

- SPEN – дозвіл роботи послідовного порту;
- CREN – неперервне приймання;

Для реалізації процедури передавання необхідно встановити в „1” такі біти в регістрі TXSTA:

- TXEN – дозвіл передавання;
- BRGH – вибір високої швидкості;
- TRMT – біт статусу передавального регістру зсуву (TSR заповнений).

Встановлюємо швидкість передачі USART – 9600 біт/с. Визначивши біт високої швидкості (TXSTA, BRGH=1), визначаємо значення регістру SPBRG з формули:

$$9600 = \frac{F_{osc}}{16(SPBRG + 1)}. \quad (4.1)$$

Підставивши значення $F_{osc} = 1$ МГц обчислюємо значення $SPBRG \approx 06h$ і заносимо його в регістр SPBRG – регістр генератора швидкості USART.

Розглянемо послідовність передачі даних за допомогою USART. Головним в передавачі є регістр зсуву TSR, яки отримує дані із буфера передавача TXREG. Дані в регістр TXREG завантажуються програмно. Після передачі стопового біта попереднього байта, в останньому машинному такті циклу BRG, в TSR завантажуються нове значення з TXREG (якщо воно присутнє).

4.1.4 Кроковий двигун

Кроковий двигун використовується для видавлювання рідини з вимірювальної камери. За допомогою гвинтового редуктора обертальний рух валу двигуна перетворюється в поступальний рух поршня. Гвинт вибраний з кроком різьби 0,5мм, тобто за один повний оберт вала поршень переміститься на 0,5 мм. Двигун повинен мати невеликий крок обертання, якомога менші габарити і масу і розвивати достатнє зусилля для обертання гвинта редуктора. Даним вимогам відповідає двигун ШД 10/100 [14]. Це кроковий двигун з активним ротором і з чотирма обмотка збудження. Наведемо параметри даного двигуна:

- крок, град – 15
- число фаз – 4
- максимальний статичний момент, гс*см – 50
- номінальний момент навантаження, гс*см – 10
- момент інерції ротора $\times 10^3$, гс*см*сек² – 5
- номінальний момент інерції навантаження $\times 10^3$, гс*см*сек² – 2
- частота приємистості, Гц, номінальна – 100
- коефіцієнт форсування – 1
- номінальна напруга, В – 14
- струм фази в статиці, А – 0,075
- потужність споживання в статиці, Вт – 2
- габарити, мм – 33*39
- маса, кг – 0,08.

Знайдемо відстань на яку переміститься поршень при поверненні двигуна на один крок. Повний оберт складає 360^0 , а 15^0 становлять $1/24$ повного оберту. Отже, відстань дорівнює $0,5/24$ мм тобто $\approx 0,0208$ мм.

4.2 Синтез принципової електричної схеми

Для розробки повної принципової електричної схеми пристрою необхідно вибрати елементи схеми і розрахувати масштабуючий підсилювач. Розрахуємо параметри і виберемо елементи, що входять до масштабуючого підсилювача. Як відомо порогова напруга, яка знімається з виходу давача при граничному значенні тиску, дорівнює 50 мВ. На вході АЦП дана напруга повинна мати значення 10 В. Отже, ми можемо визначити коефіцієнт підсилення k , який повинен мати масштабуючий підсилювач.

$$K = \frac{10 \text{ В}}{50 \text{ мВ}} = 200$$

Для реалізації масштабуючого підсилювача виберемо стандартну схему на основі операційного підсилювача [15]. Дана схема зображена на Додатку А.

Коефіцієнт підсилення для даної схеми знаходиться за наступною формулою:

$$K = \frac{(R_2 + R_1)}{R_1} \quad (4.2)$$

Знаючи потрібний коефіцієнт підсилення і задавши один з резисторів можна знайти опір другого. Нехай $R_1 = 1 \text{ кОм}$. Тоді ,

$$R_2 = K \cdot R_1 - R_1 = 200 \cdot 1 - 1 = 199 \text{ кОм}$$

Отже, маючи параметри , виберемо елементи, які будуть використовуватись в схемі. В якості операційного підсилювача виберемо мікросхему К140УД14 і резистори марки МЛТ-0.125 з відповідними значеннями опорів.

Оскільки в якості схеми керування кроковим двигуном буде використовуватись стандартна схема без будь-яких доповнень і переробок, то її опис тут ми наводити не будемо. Дана схема зображена на принциповій електричній схемі системи на кресленні Додатку А.

Розглянемо тепер блок живлення даного вимірювального блоку. Для живлення всіх схем нам потрібні такі напруги 5 В, 10 В, ± 15 В. Для отримання цих напруг ми використали стандартний блок живлення з двох полярним живленням потужністю 25 Вт [11]. Принципова електрична схема блока живлення зображена принциповій електричній схемі всього пристрою на Додатку А.

Розглянемо тепер роботу принципової електричної схеми. Спочатку розглянемо процес вимірювання, оцифровування та зчитування оцифрованих даних мікроконтролером. Напруга, яка пропорційна вимірюваному тиску, подається на масштабуючий підсилювач, який реалізований на мікросхемі DA1.

Тут проходить підсилення по напрузі і підсилений сигнал подається на АЦП вивід 24 мікросхеми DA6. На вхід 33 DA6 подається опорна напруга $U_{ref}=10V$, а на вхід 21 – тактові імпульси, які потрібні для перетворення. Тактові імпульси подаються з виводу 6 мікросхеми DD1 генератора прямокутних імпульсів, який побудований за допомогою логічних елементів мікросхеми DD1, резисторів R3, R4 і резонатора кварцового ZQ1. Резистор R3 з'єднується з резонатором ZQ1 і з входом 1 мікросхеми DD1. Другий кінець резистора R3 з'єднується з резистором R4 і з виводами 2 і 3 мікросхеми DD1. Другий кінець резистора R4 з'єднується з виводами 4 і 5 мікросхеми DD1 і з резонатором кварцовим ZQ1. В той момент, коли необхідно отримати оцифроване значення тиску поверхневого натягу, він подає на вихід 14 одиничний сигнал, який поступає на вхід 23 DA6 і відбувається запуск процесу перетворення. В той момент, коли процес завершився, на виході 22 DA6 з'являється одиничний рівень, що показує про завершення перетворення аналогового сигналу в цифровий. На виходах 4 – 15 АЦП формується 12-ти розрядний двійковий код. Цей код по шині даних записується в регістри, які виконані на мікросхемах DD2 і DD3. Для запису даного коду в регістри DD2 і DD3 на їх входи (1, 11 мікросхеми DD2 і 6, 8, 9 мікросхеми DD3) подається сигнал дозволу запису, який подається з виводу 12 мікросхеми мікроконтролера

DD8. Сигнал дозволу запису даних записує 8 молодших біт записується в регістр DD2 на виходи 2 – 9 і записує 4 старших біти в регістр DD3 на виходи 2 – 5. Двійковий код на виходах мікросхем DD2 і DD3 записується в PORTA – 4 старших біти (CP), в PORTB записується 8 молодших біти. Мікросхема мікроконтролера перетворює паралельний двійковий код в послідовний. Послідовний код протоколу RS – 232, який також формує мікроконтролер, передається на віддаль 10 – 15м з виводів 17 і 18 (RC6 і RC7) мікросхеми DD8. З виводів 15 і 16 (RC4 і RC5) мікросхеми DD8 одиничні сигнали подаються на схему керування кроковим двигуном. В залежності на який вивід буде подаватися сигнал, кроковий двигун буде робити крок вперед або назад.

Блок живлення виконаний за допомогою трансформатора T1, вторинна обмотка якого з'єднується з діодними мостами VD1, VD2 і VD3. Діодні мости з'єднуються з виводом 1 мікросхем підсилювачів, які виконані на мікросхемах DA2 – DA5. Мікросхеми підсилювачів DA2 і DA3 з'єднуються з одним діодним мостом. До виходів 1 і 3 мікросхем DA2 –DA5 під'єднують конденсатори C1, C3, C5, C7 до виводу 1 і C2, C4, C6, C8 до виводу 2. Відповідно з виводу 3 кожної мікросхеми DA2 – DA5 ми отримуємо напругу живлення +5В, +10В, +15В і –15В відповідно.

Схема керування кроковим двигуном складається з мікросхем DD1.5, DD1.6, DD4, DD5, DD6, DD7, DD9, DD10, резисторів R5 – R14, транзисторів VT1 – VT4, діодів VD4 – VD9, конденсаторів C9 і C10.

Транзистори VT1 – VT4 використовуються як підсилювачі, після яких напруга подається на обмотки крокового двигуна А, В, С, D.

Ми розглянули роботу пристрою при виконанні певних елементарних операцій. Повне послідовне функціонування пристрою здійснюється за допомогою програми, яка виконується мікросхемою мікроконтролера і складається з елементарних операцій, описаних вище. Саму програму, її алгоритм наведено в додатку Б.

Вимірювальний модуль

Конструктивно даний пристрій складається з наступних складових частин:

- давача тиску;
- капіляр;
- прокладка;
- ємність;
- поршень;
- шток;
- корпус;
- вимірювальна камера;
- механізм сполучення з кроковим двигуном.

Давач тиску призначений для вимірювання тиску поверхневого натягу і для передачі вимірюваного значення на віддаль. Аналоговий вихідний сигнал давача тиску становить 0 – 50 мВ. Давач кріпиться зверху різьбовим з'єднанням до вимірювальної камери. На виході давача ми отримуємо аналоговий сигнал постійної напруги, який пропорційний значенню тиску поверхневого натягу.

Капіляр призначений для створення на його кінці краплі постійного об'єму. Тиск поверхневого натягу краплі подається через вимірювальну камеру до давача тиску. Капіляр кріпиться до вимірювальної камери різьбовим з'єднанням через прокладку. Радіус капіляра становить 0.8мм.

Ємність вимірювального блоку призначена для знаходження в ній рідини, з якої буде формуватися досліджувана крапля. Об'єм ємності становить 870мм³. Вона кріпиться до корпусу вимірювального блоку за допомогою різьбового з'єднання.

Поршень вимірювального блоку призначений для перекриття каналу подачі рідини з ємності блоку в корпус, а з корпусу вимірювальна рідина подається у вимірювальну камеру і для формування краплі постійного об'єму. Поршень переміщається вліво або вправо в корпусі блоку в залежності від сигналу, який поступає на схему керування кроковим двигуном. Поршень виготовляється відповідної форми, для усунення прокручування внаслідок

перетворення обертального руху в поступальний. Переріз поршня зображений на Додатку В. Шток призначений для з'єднання поршня з механізмом сполучення з кроковим двигуном. Він різьбою кріпиться до поршня і до механізму сполучення. Різьба, яка з'єднує шток з механізмом сполучення має крок 0.5мм. Розмір різьби вибраний таким чином, щоб забезпечити переміщення поршня на потрібну віддаль (1 оберт двигуна переміщає поршень на 0.5мм). Вимірювальна камера призначена є проміжною ланкою, до якої кріпиться давач, капіляр і корпус вимірювального блоку. Саме по внутрішній порожнині вимірювальної камери тиск подається до давача тиску.

Ланка сполучення з кроковим двигуном призначена для перетворення обертового руху крокового двигуна в поступальний рух поршня.

4.3 Алгоритм і програма функціонування мікроконтролера

Дана програма необхідна для адекватного функціонування всіх блоків пристрою і правильного керування цими блоками мікроконтролером, який є управляючим елементом пристрою. Програма також необхідна для задання функцій , які повинен виконувати даний пристрій. Дана програма записується в пам'ять програм, і оскільки вона виконується мікроконтролером безпосередньо в процесі роботи, то вона записується в пам'ять в кодах команд мікроконтролера. Представлена в такому вигляді програма складається з нулів і одиниць або шістнадцяткових чисел і є дуже важко зрозумілою. Для кращого сприйняття таких програм використовуються мнемонічні команди, які являють собою мову асемблера для мікроконтролера. Програми в основному пишуть за допомогою мнемонік, а потім спеціальні програми переводять мнемоніки в машинні коди відповідного процесора і після цього їх можна записувати в пам'ять програм. Тому програму для даного пристрою ми також будемо писати за допомогою мнемонічних команд. Дана програма є досить складною і вона

здійює такі блоки мікроконтролера: таймер-лічильник подій 1, блок послідовного інтерфейсу і порти мікроконтролера. В програмі використовуються команди переносу, команди умовного переходу та інші. Блок-схема алгоритму функціонування наведена в графічній частині проекту на кресленні додатку В, а програма функціонування в мнемокодах наведена в додатку Б.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Аналіз типів похибок

Забезпечення високої точності вимірювань – важке завдання, і вирішення її належить сфері метрологічного забезпечення. Дослідника, чи технолога цікавить в кінцевому результаті похибка отриманих ними результатів вимірювання. Проте ця похибка складається з багатьох складових. Різновидність прояву похибок та причин їх виявлення викликало необхідність поділу цих складових на певні типи.

Похибка результату вимірювань – це відхилення результатів вимірювання від істинного (дійсного) значення вимірюваної величини.

Аналізуючи причини виникнення похибок, необхідно в першу чергу виділити ті з них, які суттєво впливають на результат вимірювання.

В залежності від форми вираження розрізняють абсолютну і відносну похибки. Абсолютною називають похибку, яка показує на скільки результат вимірювання відрізняється від істинного значення вимірюваної величини [16].

Тобто

$$\Delta = A - X_{\text{ист}}, \quad (5.1)$$

де Δ - абсолютна похибка вимірювань; A – результат вимірювання; $X_{\text{ист}}$ – істинне значення вимірюваної величини.

Абсолютна похибка виражається в тих же одиницях, що й вимірювальна величина.

Відносна похибка вимірювань представляє собою відношення абсолютної похибки вимірювання до істинного значення вимірюваної величини. Відносну похибку визначають в процентах за формулою:

$$\delta = \frac{A - X_{\text{ист}}}{X_{\text{ист}}} \cdot 100 = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}}. \quad (5.2)$$

До похибок засобів вимірювання належать інструментальні похибки, методичні похибки.

Інструментальні похибки є в кожному засобі вимірювань, вони можуть бути визначені при його випробуваннях і занесені в паспорт на цей засіб.

Методичні похибки – це такі похибки, які пов'язані з вибраним методом вимірювань даної величини.

В залежності від умов і режимів вимірювання розрізняють статичну і динамічну похибки засобу вимірювання. Статичною називають похибку, яка не залежить від швидкості зміни вимірюваної величини в часі. Статична похибка засобу вимірювання виникає при зміні за його допомогою постійної величини.

Динамічною називають похибку, яка залежить від швидкості зміни вимірюваної величини в часі. Виникнення динамічної похибки зумовлене інерційністю елементів вимірювальної ланки засобу вимірювання, тобто тим, що перетворення в вимірювальній ланці не відбуваються миттєво, а потребують певного часу.

Динамічною похибкою засобу вимірювання є різниця між похибкою засобу вимірювання в динамічних умовах та його статичною похибкою, яка відповідає значенню величини в даний момент часу.

В залежності від характеру виявлення, можливості усунення і причин виникнення розрізняють систематичну та випадкову похибки. Систематичною називають складову похибки вимірювань, яка є постійною або закономірно змінюється при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Причинами виникнення систематичної складової похибки вимірювань (систематичних похибок) є: відхилення параметрів реального засобу вимірювання від розрахованих значень передбачених схемою; евриноваженість певних деталей засобу вимірювання відносно їх осі обертання, яке призводить до додаткового обертання за рахунок зазорів, що є в механізмі; похибка градування або деякий зсув шкали; знос робочих поверхонь деталей засобу вимірювання; старіння деталей; несправність засобу вимірювання і т. д. Ззовні

систематичну похибку неможливо виявити. Виявити її можна тільки при повірці шляхом порівняння робочих засобів вимірювання з зразковими.

Випадковою називають складову похибки, яка змінюється випадково при повторному вимірюванні однієї і тієї ж величини. Випадкова похибка виникає при одночасній дії багатьох джерел, кожне з яких саме по собі непомітно впливає на результат вимірювань, а сумарний вплив всіх джерел може бути достатньо великим, тобто це така похибка, яка не може бути передбачена ні по знаку ні по величині [16].

Поряд з систематичною та випадковою похибками існує ще і прогресуюча похибка. Прогресуюча похибка змінюється в часі і ця зміна залежить від зміни характеристик окремих елементів засобу вимірювання.

Систематичне відхилення експериментальних даних від вибраної характеристики засобу вимірювання називають похибкою адекватності.

Проте є також і похибка градуювання, яка залежить від тих похибок взірцевих засобів вимірювання за допомогою яких здійснювалося експериментальне градуювання робочого засобу вимірювання.

Похибки засобу вимірювань, які залежать від величини вхідного сигналу називаються мультиплікативними, а ті що не залежать – адитивними.

Ультразвуковий рівнемір складається з багатьох блоків і однією з складових похибок системи є похибка квантування.

5.2 Розрахунок основної допустимої похибки системи

Оскільки розроблювана нами система складається з ряду блоків та вузлів, то і основна допустима похибка буде теж складатись з складових похибок її блоків і вузлів. Значення цієї похибки може суттєво залежати від зовнішніх факторів, які впливають на роботу системи.

На практиці вимірювань часто постає задача визначення сумарної (результуючої) похибки по відомим значенням складових цієї похибки.

Знаходження сумарної систематичної похибки по відомим систематичним похибкам сумуючих складових не викликає труднощів. В цьому випадку при розрахунку приймають $r=0$, якщо випадкові складові можна рахувати невідомими, або рівними одиниці з знаком плюс або мінус, якщо помітна кореляція між сумуючими випадковими складовими похибки. Розглянемо більш детально сумування випадкових похибок [11].

Будемо вважати, що результуюча похибок вимірювань складається з n випадкових складових, які мають нормальний закон розподілу. Знаючи довірочну імовірність і інтервал довіри для кожної складової похибки, можна знайти середньоквадратичне відхилення кожної із них за формулою:

$$\sigma_i = \frac{\delta_{im}}{Zp_i}, \quad (5.3)$$

де Zp_i - коефіцієнт, взятий з таблиць для нормального розподілу і відповідної довірочної імовірності P_i .

Якщо імовірність довіри для всіх складових однакова і рівна P , тоді використовують вираз (5.3) дістанемо:

а) для корельованих складових:

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \pm \delta_{im}}{Z_p}, \quad (5.4)$$

де знак \pm означає, що для складових з позитивною кореляцією σ_i і δ_{im} потрібно брати з знаком плюс, а для складової з негативною кореляцією – з знаком мінус;

б) для незалежних складових ($r_{ij}=0$):

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum \delta_{im}^2}}{z_p} \quad (5.5)$$

При сумуванні складових, які мають нормальний закон розподілу, результуюча похибка буде мати той самий нормальний закон розподілу. Тому інтервал довіри сумарної похибки з імовірною довірою P може бути знайдений як:

$$\delta_{\Sigma} = \pm z_p \sigma_{\Sigma}, \quad (5.6)$$

де δ_{Σ} - границя інтервалу довіри сумарної похибки.

З врахуванням (5.4) (5.5) вираз (5.6) матиме вигляд:

а) для корельованих складових:

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sum \pm \delta_{im}; \quad (5.7)$$

б) для незалежних складових:

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum \delta_{im}^2}. \quad (5.8)$$

Якщо в виразі (5.6) всі складові мають позитивну кореляцію, тоді

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\delta_{im}}. \quad (5.9)$$

Сумування похибок по виразу (5.8) називається арифметичним сумуванням, а по виразу (5.9) – геометричним сумуванням.

Дійсні значення коефіцієнтів кореляції по абсолютному значенню можуть знаходитись в границі від 0 до 1, тому арифметичне сумування звичайно дає зависокі значення похибки.

Сумування випадкових похибок при їх законах розподілу, які відрізняються від нормальних.

Складність знаходження сумарної похибки в цьому випадку полягає в тому, що закон розподілу сумарної похибки залежить від конкретних видів і характеристик законів розподілу сумарних складових. Наприклад, при складанні двох незалежних похибок, які мають рівномірні закони розподілу з однаковими дисперсіями, результуюча похибка буде розподілятися по трикутному закону. Якщо ці рівномірні закони мають різні дисперсії, тоді результативний закон буде мати вид у вигляді трапеції. Тому для встановлення інтервалу довіри сумарної похибки необхідно в кожному конкретному випадку шукати методами теорії імовірності результуючий закон розподілу по відомим законам сумування складових.

Можливі приблизні способи визначення інтервалу довіри похибки без встановлення результативного закону розподілу. Перший базується на центральній граничній теоремі: якщо число сумуючих незалежних складових достатньо велике, тоді результуючий закон розподілу близький до нормального

і в якості коефіцієнту $k_{\Sigma}^{(p)}$ можна приймати z_p . Другий – при сумуванні незалежних складових, які мають закон розподілу.

Розподіл похибок ЗВ на основі центральної граничної теореми теорії імовірності мають бути завжди близькі до нормативного розподілу. Але більш детально випробування фактичного розподілу похибок системи показали, що закони розподілу похибок різноманітні. Це різко ускладнює призначення верхньої і нижньої границі лінії похибки, а тому і всю методику створення суджень про положення лінії похибки системи в границях нормуючих границь і умов виходу частини смуги похибки за нормуючі границі.

Це більше ускладнюється ще тим, що форма закону розподілу в поперечному січенні смуги різна не тільки для систем різних типів, але може суттєво відхилятися у окремих видах систем одного і того самого типу. І більш того, навіть у даному виді систем вона може змінюватися по довжині смуги похибки, тобто мати одну форму при $x=0$ і поступово набирати зовсім іншу форму до кінця смуги.

Більш детальним дослідженням цієї властивості граничних квантилів при $P_d=0,9$ показали, що інтегральні криві багатьох класів симетричних розподілів в області 0,05 і 0,95 квантилів перетинаються між собою хоча і не строго в одній точці, зате в дуже вузькому інтервалі. Тому з похибкою в $0,05\sigma$, що в більшості технічних розрахунків, похибка з імовірністю $P_d=0,9$ може бути визначена як $\Delta_{0,9}=1,6\sigma$, а верхні і нижні границі можна знайти по формулам.

Таким чином, при використанні для оцінки випадкової складової похибки з $P_d=0,9$ оцінки $\Delta_{0,9}=1,6\sigma$ довірочна імовірність виходу похибки за симетричні границі буде мати значення $P_d=0,95$, так як вихід за нижню границі буде практично відсутній.

$$\delta_z = \frac{\Delta_{\Sigma}}{U_{\text{вих}}}; \quad (5.10)$$

$$\Delta_{\Sigma} = Z \cdot \sigma_{\Sigma}, \quad (5.11)$$

де σ_{Σ} – сумарне середньо - квадратичне відхилення(СКВ) похибок;

$U_{\text{нвих}}$ – номінальне значення вихідної напруги;

Z - коефіцієнт Ст'юдента (коефіцієнт довіри), який по нормальному закону розподілу рівний $Z=1,96$.

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\Sigma \sigma_i^2}, \quad (5.12)$$

де σ_i - СКВ похибок окремих елементів і яке рівне

$$\sigma_i = \frac{\Delta_i}{Z}, \quad (5.13)$$

де

$$\Delta_i = \delta_i \cdot U_n. \quad (5.14)$$

Вхідною інформацією при розрахунку сумарної похибки приладу є похибка кожного функціонального блоку, з якої він складається.

Наведемо значення похибок кожного функціонального блоку системи:

- похибка давача тиску – 0,1 % ;
- похибка масштабуючого підсилювача – 0,5%;
- похибка генератора – 0,1% ;
- похибка АЦП – 0,05% ;
- похибка регістрів – 0,05% ;
- похибка крокового двигуна – 0.5%;
- похибка мікроконтролера – 0,05% .

Розрахунок значень абсолютних похибок окремих блоків приладу наведено нижче:

$$\Delta_1 = 0,001 \cdot 5 = 0,005 \text{ В}$$

$$\Delta_2 = 0,005 \cdot 15 = 0,075 \text{ В}$$

$$\Delta_3 = 0,001 \cdot 5 = 0,005 \text{ В}$$

$$\Delta_4 = 0,0005 \cdot 5 = 0,0025 \text{ В}$$

$$\Delta_5 = 0,0005 \cdot 5 = 0,0025 \text{ В}$$

$$\Delta_6 = 0,005 \cdot 5 = 0,025 \text{ В}$$

$$\Delta_7 = 0,0005 \cdot 5 = 0,0025 \text{ В}$$

Знайдемо СКВ кожної ланки згідно (5.13):

$$\sigma_1 = \frac{0,005}{1,96} = 0,0025,$$

$$\sigma_2 = \frac{0,075}{1,96} = 0,038,$$

$$\sigma_3 = \frac{0,005}{1,96} = 0,0025,$$

$$\sigma_4 = \frac{0,0025}{1,96} = 0,001,$$

$$\sigma_5 = \frac{0,0025}{1,96} = 0,001,$$

$$\sigma_6 = \frac{0,025}{1,96} = 0,013,$$

$$\sigma_7 = \frac{0,0025}{1,96} = 0,001.$$

Знаючи похибку кожного блоку, знайдемо СКВ похибок згідно (5.3):

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{0,0025^2 + 0,038^2 + 0,0025^2 + 0,001^2 + 0,001^2 + 0,013^2 + 0,001^2} = 0,04.$$

Знайшовши СКВ, знайдемо сумарну відносну похибку рівнеміру за формулами (5.3), (5.4):

$$\Delta\Sigma = 0,04 \cdot 1,96 = 0,0784.$$

Прийнявши, що вихідна напруга системи – 25В, знайдемо:

$$\delta_{\Sigma P} = \frac{0,0784}{25} \cdot 100\% = 0,3\%.$$

Таким чином сумарна похибка системи складає 0,3%, що є достатньою для роботи системи, клас точності розробленого модуля складе 0,5.

6 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Охорона праці

6.1.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей виробничого середовища

Спроектвана система контролю екологічних показників призначена для експлуатації в стаціонарному режимі, зокрема для контролю та аналізу шкідливих викидів у відстійниках. До працівників шкідливих професій можна віднести чергових інженерів та операторів насосного цеху, які працюють в умовах підвищеного шуму та вібрацій. Враховуючи специфіку їх роботи, будуть наведені вимоги та рекомендації стосовно режиму праці та відпочинку, освітленості та вентиляції приміщень, і ін. [19].

При встановленні, налагоджуванні і експлуатації системи контролю екологічних параметрів існує потенційна небезпека отримання травм, ураження електричним струмом, отруєння випарами хімічних речовин.

Основними причинами одержання травм працівниками є :

- недотримання вимог і правил техніки безпеки при монтажі, налаштуванні і експлуатації системи контролю екологічних параметрів;
- пошкодження ізоляції проводки, поява напруги на корпусах електрообладнання при відсутності захисного заземлення і занулення;
- поява напруги на відключених струмопровідних частинах, де працюють люди, внаслідок помилкового ввімкнення;
- випадкове ввімкнення обладнання на якому виконуються роботи.

Основними заходами попередження нещасних випадків є:

- дотримання працівниками вимог техніки безпеки;
- виконання всіх робіт згідно регламентів;
- захисне заземлення і занулення установок і агрегатів;
- використання тільки сертифікованих матеріалів при монтажі системи.

Метеорологічні умови на робочому місці визначаються передусім кліматографічними особливостями місцевості. Шкідливі виробничі фактори:

підвищена або понижена температура в робочій зоні, підвищений рівень шуму та вібрації в виробничому приміщенні.

Розвиток техніки, ріст потужності і швидкохідності машин, механізація виробничих процесів призводить до збільшення вібрації і шуму [20].

Виробничий шум – це комплекс звуків, які змінюються по висоті та амплітуді. Рівень інтенсивності звуку вимірюється в децибелах і визначається логарифмом відношень інтенсивностей

$$L_i = 10 \cdot \text{Lg}(I/I_0), \quad (5.1)$$

де I – сила даного звуку певної частоти;

I_0 – сила того ж звуку на порозі чутливості.

Порогом чутливості називається максимальна сила звуку, яка відчувається людиною з нормальним слухом.

При високому рівні гучності шум шкідливо впливає на нервову систему людини і її органи слуху, що викликає роздратування, втому, послаблення уваги, зниження роботоздатності і глухість. Це приводить до нещасних випадків і до значного зниження продуктивності праці.

Вібрація та механічні трясіння характеризуються періодичними коливаннями дозвукової частоти. При перекачуванні рідини трубопроводами — це сили, що виникають на насосних станціях, при роботі перекачувальних агрегатів, роботі нагнітачів. В багатьох випадках шум і вібрації діють одночасно і з одного джерела.

Для боротьби з шумом та вібрацією приймають захисні заходи при будівництві об'єктів (використовують звукопоглинаючі матеріали), особливо при будівництві операторних та щитових, при проектуванні і їх експлуатації (усунення причин шуму або послаблення його в джерелі).

6.1.2 Забезпечення нормальних умов праці

Забезпечення здорових і безпечних умов праці у виробничій сфері досягається при проектуванні, за рахунок дотримання діючих нормативних документів, а для існуючих об'єктів – шляхом порівняння фактичних значень з нормативними і при виявленні відхилень розробкою та впровадженням заходів зі створення умов праці згідно вимог нормативних документів [19].

При високій температурі повітря понижується увага, з'являється поспішливість і необачність; при низькій - зменшується рухомість кінцівок внаслідок інтенсивної тепловіддачі організму. Впливає на тепловіддачу організму і вологість повітря: нормально при температурі біля 180 С вологість повинна знаходитися в межах від 35 до 70%. При меншій відносній вологості повітря рахується сухим, при більшій – з підвищеною вологістю. Це від'ємно впливає на організмі людини. Сухе повітря приводить до підвищеного випаровування і внаслідок цього з'являється сухість слизових оболонок і шкіри. Дуже вологе повітря, навпаки, послаблює випаровування. Дані про характеристики метеорологічних умов у виробничих приміщеннях наводяться в таблиці 6.1.

Для створення та підтримання необхідних санітарно-гігієнічних умов виробничих приміщень застосовується опалення та вентиляція, характеристика яких наводиться в таблиці 6.2. Нормативна зорова робота передбачає створення на робочих місцях освітлення згідно санітарних норм і правил, значення наводяться в таблиці 6.3.

При недостатньому природному освітленні використовують загальне освітлення – при якому в денний час використовується одночасно природне і штучне освітлення.

Таблиця 6.1 – Нормативні характеристики метеорологічних умов у виробничих приміщеннях.

Виробниче приміщення	Категорія важких фізичних робіт	Період року	Температура °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Очисник	ІІ	Теплий	20÷22	40÷70	0.2÷0.3
		Холодний	17÷19	40÷70	0.2÷0.3

Таблиця 6.2 — Характеристика системи вентиляції.

Виробниче приміщення	Вид вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність повітрообміну 1/год
Очисник	Механічна місцева	Кондиціонери повного кондиціювання повітря	10

Штучне освітлення застосовується для освітлення робочих поверхонь в темний період доби чи при недостатньому природному освітленні. Створюється воно штучними джерелами світла (лампами). Так як робота з вимірювальною системою зводиться до 1 годин в день, причому не підряд, а по кілька хвилин (для технічної перевірки і виявлення візуальних пошкоджень), то особливих рекомендацій по роботі з системою для чергового інженера не потрібно. Для розміщення системи слід вибрати місце, де її буде добре видно.

Під час роботи чергового інженера через нервову навантаженість знижується увага і зорове сприйняття, занижена м'язова активність. Для зниження монотонності в роботі, перерви відпочинку потрібно супроводжувати вправами для рук та розминки хребта, особливо шийних хребців і м'язів.

Таблиця 6.3 — Характеристика штучної освітленості робочих місць.

Виробниче приміщення	Розряд та підрозряд зорової роботи	Освітленість, Лк				Тип світильників
		Загальна	Комбінована	Аварійна	Евакуаційна	
Очисник	Будь-яка	60	70	5	2	НСП 21

При виконанні робіт, що супроводжуються впливом шкідливих факторів на організм працівників використовуються індивідуальні і групові засоби захисту, перелік яких міститься в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 — Перелік засобів захисту.

Назва виробництва, обладнання, шкідливий фактор	Вид та призначення засобу захисту	Назва засобу захисту	Професія працівника
Очисник: насосні установки	Індивідуальний метод захисту	ІЗЗ “Беруші” для захисту від шуму ІЗЗ ВЦННІОТ для захисту від шуму Респіратор Р-1 для захисту від шкідливих випарів	Інженер по обслуговуванню системи

6.1.3 Розрахункова частина

Для уникнення шкідливого впливу завад на роботу схеми необхідно передбачити і розрахувати заземлення системи.

Вихідними даними для розрахунку заземлення є:

- напруга живлення приладу – 220В, потужність < 50 ВА;
- згідно “Правил устроювання електроустановок” опір заземлення повинен

складати $R < 4$ Ом;

- в якості заземлення використовується труба:
- довжина – $L=2$ м.
- діаметр – $d=0.075$ м.
- глибина заземлення – $t=1$ м.
- Розрахунковий питомий опір ґрунту ρ складає для суглинків 150 Ом*м;
- Коефіцієнт використання заземлювача $K_b=0.8$.

Визначимо опір розтікання струму з одного заземлювача, який розташовано вертикально за формулою:

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot 4} \cdot \operatorname{Ln} \frac{2 \cdot L}{d} + 0.5 \cdot \operatorname{Ln} \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L}, \quad (6.2)$$

де $L=2$ м – довжина заземлювача;

$d=0.075$ м – діаметр заземлювача;

$t=1$ м – глибина залягання заземлювача.

З формули (6.2) маємо:

$$R_1 = \frac{150}{2 \cdot 3.14 \cdot 4} \operatorname{Ln} \frac{2 \cdot 2}{0.075} + 0.5 \cdot \operatorname{Ln} \frac{4 \cdot 1 + 2}{4 \cdot 1 - 2} = 27.03 \text{ Ом.}$$

визначимо необхідну кількість паралельно з'єднаних заземлювачів за формулою

$$n = \frac{R_0}{R \cdot k_b}, \quad (6.3)$$

де $k_b=0.8$ – коефіцієнт використання заземлювачів.

З формули (6.3)

$$n = \frac{27}{4 \cdot 0.8} = 8.43.$$

Вибираємо, що необхідно 9 заземлювачів.

Визначимо опір горизонтального заземлювача, який використовується для з'єднання електродів розміщених вертикально, враховуючи, що він має форму смуги прямокутного сичення і виконаний із сталі:

$$R_r = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot 4} \cdot \operatorname{Ln} \frac{2 \cdot l}{b \cdot t}, \quad (6.4)$$

де $b=0,1\text{м}$ – ширина горизонтального заземлювача;

$l=1,05*1,5*9=14,175$ – довжина горизонтального електрода при розташуванні вертикальних електродів в один ряд:

$$R_r = \frac{150}{4 \cdot \pi \cdot 4} \cdot \text{Ln} \frac{2 \cdot 14,175}{0,1 \cdot 1} = 7,49 \text{Om}.$$

Визначимо загальний опір розтікання струму заземлювача, який використовується для забезпечення заземлення комплексу за формулою:

$$R_i = \frac{R_b \cdot R_{ri}}{R_r \cdot k_u + R_b \cdot n \cdot k_b}. \quad (6.5)$$

Розраховавши,

$$R_i = \frac{27 \cdot 7,49}{7,49 \cdot 0,5 + 27 \cdot 9 \cdot 0,8} = 1,02 \text{Om}$$

бачимо, що необхідний рівень опору заземлення досягнуто.

6.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

6.2.1 Електромагнітний імпульс ядерного вибуху і захист від нього радіоелектронних засобів

Генератори ЕМІ (супер ЕМІ), як показують теоретичні роботи і проведені за рубежом експерименти, можна ефективно використовувати для виводу з ладу електронної й електротехнічної апаратури, для стирання інформації в банках даних і псування ЕОМ.

За допомогою ЗНСД на основі генераторів ЕМІ можливий вивід з ладу ЕОМ, ключових радіо й електротехнічних засобів, систем електронного запалювання й інших автомобільних агрегатів, чи підіривши інактивація мінних полів. Вплив цієї зброї досить вибірково і політично цілком прийнятний, однак потрібна точна доставка його в райони поразення.

Незважаючи на визнання військово-політичним керівництвом США і НАТО неможливості перемоги в ядерній війні, різні аспекти вражаючого дії ядерної зброї продовжують широко обговорюватися. Так, в одному з розглянутих іноземними фахівцями сценаріїв початкового періоду ядерної

війни особливе місце приділяється потенційної можливості висновку з ладу радіоелектронної техніки в результаті впливу на неї ЕМІ.

Вважається, що підірвавши на висоті близько 400 км тільки одних боєприпасів потужністю більш 10 Мт приведе до такого порушення функціонування радіоелектронних засобів у великому районі, при якому час їхнього відновлення перевищить припустимі терміни для вживання відповідних заходів.

Теоретичні дослідження і результати фізичних експериментів показують, що ЕМІ ядерного вибуху може привести не тільки до виходу з ладу напівпровідникових електронних пристроїв, але і до руйнування металевих провідників кабелів наземних споруд. Крім того, можлива поразка апаратури, що знаходяться на низьких орбітах.

Для генерації ЕМІ ядерні боєприпаси можуть підриватися в космічному просторі, що не приводить до виникнення ударної хвилі і випаданню радіоактивних опадів. Тому в закордонній пресі виголошуються наступні думки про "неядерний характер" такого бойового застосування ядерної зброї і про те, що удар з використанням ЕМІ не обов'язково приведе до загальної ядерної війни.

Небезпека цих заяв очевидна, тому що одночасно деякі закордонні фахівці не виключають можливість масової поразки за допомогою ЕМІ і живої сили. У всякому разі цілком очевидно, що наводимі під впливом ЕМІ в металевих елементах техніки струми і напруги будуть смертельно небезпечні для особового складу.

6.2.2 Використання імітаторів ЕМІ для набору експериментальних даних

Оскільки збір експериментальних даних при проведенні підземних ядерних випробовувань технічно дуже складний і дорогий, то вирішення набору даних досягається методами і засобами фізичного моделювання.

Імітатори являють собою електрогенератори з спеціальними

випромінювачами, що створюють електромагнітне поле з параметрами близькими до тих, що характерні для реального ЕМІ. У зону дії випромінювача поміщається випробовуваний об'єкт і прилади, що реєструють інтенсивність поля, його частотний спектр і тривалість впливу.

В даний час створена і діє велика кількість імітаторів ЕМІ для випробовувань авіаційної, космічної, корабельної і наземної техніки. Однак вони не повною мірою відтворюють реальні умови впливу ЕМІ ядерного вибуху внаслідок обмежень, що накладаються характеристиками випромінювачів, генераторів і джерел електроживлення на частотний спектр випромінювання, його потужність і швидкість наростання імпульсу.

Разом з тим, і при цих обмеженнях вдається одержати досить повні і надійні дані про появу несправностей у напівпровідникових приладах, збою в їхньому функціонуванні і т.п., а також про ефективність дії різних захисних пристроїв. Крім того, такі випробовування дозволили дати кількісну оцінку небезпеки різних шляхів впливу ЕМІ на радіоелектронну техніку.

Теорія електромагнітного поля показує, що такими шляхами для наземної техніки є насамперед різні антенні пристрої і кабельні введення системи електроживлення, а для авіаційної і космічної техніки - антени, а також струми, що наводяться в обшивці, і випромінювання, що проникають через скло кабін і лючки з неструмопровідних матеріалів.

Струми, що наводяться ЕМІ в наземних і заглиблених кабелях електроживлення довжиною в сотні і тисячі кілометрів, можуть досягати тисяч амперів, а напруга в розімкнутих колах таких кабелів - мільйон вольт. В антенних відведеннях, довжина яких не перевищує десятків метрів, наводимі ЕМІ струми можуть мати силу в кілька сотень амперів. ЕМІ, що проникає безпосередньо через елементи споруджень з діелектричних матеріалів (неекрановані стіни, вікна, двері і т.п.), може наводити у внутрішній електропроводці струми силою в десятки амперів.

Оскільки слабострумові кола і радіоелектронні прилади нормально функціонують при напругах у декілька вольт і струмах силою до декількох

десятьків міліампер, то для їх абсолютно надійного захисту від ЕМІ потрібно забезпечити зниження величини струмів і напруг у кабелях до шести порядків.

6.2.3 Можливі шляхи вирішення задачі захисту від ЕМІ

Ідеальним захистом від ЕМІ було б повне закриття приміщення металевим екраном, в якому розміщена радіоелектронна апаратура. Разом з тим ясно, що практично забезпечити такий захист в ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричний зв'язок із зовнішніми пристроями.

Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі як струмопровідні сітки чи плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для воздухозабірників і вентиляційних отворів та контактні пружинні прокладки, розташовувані по периметру дверей і люків.

Більш складною технічною проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Радикальним вирішенням даної проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично не підданих впливу ЕМІ волоконно-оптичних.

Однак заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконуваних ними функцій електронно-оптичними пристроями можливо тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час як засоби захисту кабельних вводів найбільше широко використовуються фільтри, в тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металоокисні варистори і високошвидкісні зенеровські діоди.

Усі ці засоби мають як переваги, так і недоліки. Так, ємнісно-індуктивні фільтри досить ефективні для захисту від ЕМІ малої інтенсивності, а волоконні фільтри захищають у відносно вузькому діапазоні надвисоких частот. Іскрові розрядники володіють значною інерційністю й, в основному, придатні для захисту від перевантажень, що виникають під впливом напруг і струмів, що наводяться в обшиваці літака,

кожусі апаратури й екрануванні кабеля.

Металлоокисні варистори являють собою напівпровідникові прилади, що різко підвищують свою провідність при високій напрузі. Однак, при застосуванні цих приладів, як засобу захисту від ЕМІ, варто враховувати їхню недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при кількарізовому впливі навантажень.

Ці недоліки відсутні у високошвидкісних зенеровських діодах, дія яких базується на різкій лавиноподібній зміні опору від відносно високого значення практично до нуля при перевищенні прикладеної до них напруги визначеної граничної величини. Крім того, на відміну від варисторів, характеристики зенеровських діодів після багаторізових впливів високих напруг і переключень режимів не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМІ кабельних введів є створення таких роз'ємів, в конструкції яких передбачені спеціальні міри, що забезпечують формування елементів фільтрів і установку вмонтованих зенеровських діодів. Подібне вирішення сприяє одержанню дуже малих значень ємності й індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, що мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову. Використання роз'ємів подібної конструкції дозволить вирішити проблему обмеження масо-габаритних характеристик пристрою захисту.

Складність вирішення задачі захисту від ЕМІ і висока вартість розроблених для цих цілей засобів і методів змушують піти на перших порах по шляху їхнього вибіркового застосування в особливо важливих системах зброї і військової техніки. Першими цілеспрямованими роботами в даному напрямку були програми захисту від ЕМІ стратегічної зброї.

Такий же шлях обраний і для захисту систем, що мають велику довжину керування і зв'язку. Однак, основним методом вирішення даної даної проблеми закордонні фахівці вважають створення так званих розподілених мереж зв'язку (типу "Гвен").

Сучасний стан проблеми ЕМІ можна оцінити в такий спосіб. Досить добре досліджені теоретично і підтверджені експериментально механізми генерації ЕМІ і параметри його вражаючої дії.

Розроблено стандарти захищеності апаратури і відомі ефективні засоби захисту. Однак, для досягнення достатньої впевненості в надійності захисту систем і засобів від ЕМІ необхідно провести випробовування за допомогою імітатора. Що стосується повномасштабних випробовувань систем зв'язку і керування, то ця задача навряд чи буде вирішена в доступному для огляду майбутньому.

Могутній ЕМІ можна створити не тільки в результаті ядерного вибуху. Сучасні досягнення в області неядерних генераторів ЕМІ дозволяють зробити їх досить компактними для використання зі звичайними і високоточними засобами доставки.

В даний час у деяких західних країнах ведуться роботи з генерації імпульсів електромагнітного випромінювання магнітодинамічними пристроями, а також високовольтними розрядами. Тому питання захищеності від впливу ЕМІ будуть залишатися в центрі уваги фахівців при будь-якому результаті переговорів про ядерне роззброювання.

ВИСНОВКИ

Результатом розробки є вимірювальний модуль системи контролю концентрації ПАР за характеристиками поверхонь розділу фаз.

В процесі виконання роботи отримані наступні результати:

- розроблена функціональна схема системи;
- розроблено вимірювальний блок, який формує краплю постійного об'єму;
- розроблена принципова електрична схема вимірювальної системи;
- розроблена Assembler-програма функціонування мікроконтролера;
- розроблений алгоритм функціонування вимірювальної системи.

Програмне забезпечення мікроконтролера забезпечує збирання інформації, її переробку і передачу на віддаль.

.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. Пер. с англ. - М. :Мир, 1979.-568 с.
2. Джейк М., Парфит Дж. Химия поверхности раздела фаз. Пер. с англ. - М.:Мир, 1984.-269 с.
3. Малько О. Г. Термодинамічні основи контролю концентрації мікрровключень по зміні міжфазних характеристик. Н.т. журнал Методи та прилади контролю якості, №4, 1999. С.34 -35.
4. Малько О. Г., Дранчук М. М. Методологічний підхід щодо якісного і кількісного контролю середовища та речовин по зміні міжфазного натягу.Н.т. журнал Методи та прилади контролю якості, №8, 2002. С.30 - 34. Режим доступу- <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/599/4/2206p.pdf>
5. Малько О. Г. Визначення динамічних характеристик між фазного натягу по зміні тиску у висячій краплі сталого об'єму. Н.т. журнал Методи та прилади контролю якості, №8, 2003. С.45 - 49.
6. Прохоров С., Русатов А. Межфазная тензометрия. – М.: Энергия,1991.
7. Баранов В и др. Промышленные приборы и средства автоматизации.- М.: Машиностроение, 1987.
8. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ./Под ред. У. Томпкинса, Дж. Уэбстера.-М.: Мир, 1992.-592с.
9. Тиль Р. Электрические измерения неэлектрических величин: Пер. с нем.- М.: Энергоатомиздат, 1987.-192с.
- 10 Суетин В.Я. Цифровые измерительные приборы/Массовая радиобиблиотека. Вып. 1073.-М.: Радио и связь, 1984.-80с.
- 11 Вениаминов В.Н., Лебедев О.Н. Микросхемы и их применение: Справ. пособие.- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 1989.- 240с.

- 12 Федорков Б.Г., Телец В.А., Дегтяренко В.П. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи/ Массовая б-ка инженера. Вып. 41.-М.: Радио и связь, 1984.-120с.
- 13 Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы/ Массовая радиобиблиотека. Вып. 1111: Справочник.-М.: Металлургия, 1988.-352с.
- 14 Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах.- 2-е изд., перераб. и доп.- Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1988.-304с.
- 15 Дискретный электропривод с шаговыми двигателями. Под ред. М.Г.Чиликина.-М.:Энергия, 1971,-624с.
- 16 Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник.- К.: Техніка, 1983,- 213с.
- 17 Исакович Р.Я. Технологические измерения и приборы.-2-е изд.- М.:Недра, 1979.-344с.
- 18 Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах: Учеб. пособие для ст. радиотех. спец. ВУЗов. Под ред. Г.В. Дружинина.- М.: Энергия, 1975.
- 19 Домин П.А. Справочник по технике безопасности.- М.: Энергоиздат, 1984.
- 20 Денисенко Г.Ф. Охрана труда.- М.: Высшая школа, 1985.

ДОДАТОК А.

ДОДАТОК Б. ПРОГРАМА ФУНКЦІОНУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА

	<pre> cblock 0x70 counter counter2 R1 R2 endc start bcf STATUS,RP0 clrf PORTA bsf STATUS,RP0 movlw 0x0F movwf TRISA bcf STATUS,RP0 clrf PORTB bsf STATUS,RP0 bsf OPTION,IRBPU movlw 0xFF movwf TRISB bcf STATUS,RP0 clrf PORTC bsf STATUS,RP0 movlw 0x08 movwf TRISC pochatok: bsf PORTC,2 movlw 0x06 movwf SPBRG bsf TXSTA,BRGH bsf TXSTA,TXEN bcf STATUS,RP0 bsf RCSTA,SPEN bcf PORTC,2 m300: movlw 0x41 movwf counter bsf PORTC,4 movlw 0x28 movwf TMR1L movlw 0x00 movwf TMR1H bsf T1CON,TMR1ON clrw dt btfss PIR1,TMR1IF dvigun: goto dvigun </pre>	<p>ініціалізація регістрів:</p> <p>встановлення виводів порту А як входів і як виходів</p> <p>відключення виводів порту В від рівня логічної одиниці встановлення виводів порту В як входів і як виходів</p> <p>встановлення виводів порту В як входів і як виходів</p> <p>частота передавання 9600біт/с висока швидкість передавання дозвіл передавання даних</p> <p>дозвіл послідовного порту</p> <p>занесення двійкового числа в регістр counter переміщення поршня вперед затримка для роботи крокового двигуна</p> <p>переміщення крокового двигуна на 65 кроків</p>
--	--	---

	<pre> bcf PORTC,4 decfsz counter,f goto m300 </pre>	
REPIT:	<pre> bsf PORTC,2 movlw 0x38 movwf TMR1L movlw 0x00 movwf TMR1H bsf T1CON,TMR1ON </pre>	запуск АЦП
ACP:	<pre> clrw dt btfss PIR1,TMR1IF goto ACP </pre>	затримка для перетворення аналогового сигналу в цифровий
m100:	<pre> btfss PORTC,3 goto m100 bcf PORTC,1 </pre>	вихід готовності перетворення
	<pre> movf PORTA,W sublw 0x0c btfss STATUS,Z goto m5 movf PORTB,W sublw 0x80 btfss STATUS,Z goto m5 goto m0 </pre>	встановлення тиску pgh
m5:	<pre> bsf PORTC,5 movlw 0x28 movwf TMR1L movlw 0x00 </pre>	переміщення поршня назад для встановлення тиску pgh
dvigun1:	<pre> movwf TMR1H bsf T1CON,TMR1ON clrw dt btfss PIR1,TMR1IF goto dvigun1 bcf PORTC,5 incf counter2,f goto REPIT </pre>	
m0:	<pre> movlw 0x06 movwf counter </pre>	
NEXT:	<pre> bsf PORTC,4 movlw 0x28 movwf TMR1L movlw 0x00 movwf TMR1H bsf T1CON,TMR1ON </pre>	переміщення поршня вперед
dvigun2:	<pre> clrw dt btfss PIR1,TMR1IF goto dvigun2 </pre>	для створення краплі V=const

	bcf PORTC,4 decfsz counter,f goto NEXT	
	movlw 0xff movwf TMR1L movlw 0xff movwf TMR1H bsf T1CON,TMR1ON	створення затримки для процесу вимірювання тиску
NEXT1:	clrwdt btfss PIR1,TMR1IF goto NEXT1 movlw 0x31 movwf TMR1L movlw 0x01 movwf TMR1H bsf T1CON,TMR1ON	поверхневого натягу
NEXT2:	clrwdt btfss PIR1,TMR1IF goto NEXT2	
	bsf PORTC,2 movlw 0x38	запуск АЦП
	movwf TMR1L movlw 0x00 movwf TMR1H bsf T1CON,TMR1ON	створення затримки для перетворення інформації
m17:	clrwdt btfss PIR1,TMR1IF goto m17	
m18:	btfss PORTC,3 goto m18 bcf PORTC,1 movf PORTA,W movf R2 movf PORTB,W movf R1 movf R1,W movwf TXREG	запис даних в регістр мікроконтролера
m35:	bsf STATUS,RP0 clrwdt btfss TXSTA,TMRT goto m35 bcf TXSTA,TMRT bcf STATUS,RP0 movf R2,W movwf TXREG	передавання даних за допомогою послідовного порту
m36:	bsf STATUS,RP0 clrwdt btfss TXSTA,TMRT goto m36	

```

bcf TXSTA,TMRT
bcf STATUS,RP0

movlw 0x47
movwf counter
zvorot: bsf PORTC,5
movlw 0x28
movwf TMR1L
movlw 0x00
movwf TMR1H
bsf T1CON,TMR1ON
m91: clrw dt
btfss PIR1,TMR1IF

goto m91
bcf PORTC,5
decfsz counter,f
goto zvorot

VPERET: bsf PORTC,4
movlw 0x28
movwf TMR1L
movlw 0x00
movwf TMR1H
bsf T1CON,TMR1ON
m92: clrw dt
btfss PIR1,TMR1IF
goto m92
bcf PORTC,4
decfsz counter,f
goto VPERET

movlw 0xff
movwf TMR1L
movlw 0xff
movwf TMR1H
bsf T1CON,TMR1ON
NEXT3: clrw dt
btfss PIR1,TMR1IF
goto NEXT3

movlw 0x9c
movwf TMR1L
movlw 0x1c
movwf TMR1H
bsf T1CON,TMR1ON
NEXT4: clrw dt
btfss PIR1,TMR1IF
goto NEXT4

goto pochatok

```

повернення поршня в початкове
положення

